

# 再生可能エネルギー利用による農村の活性化

—ソーラーシェアリング発電を事例として—

## **Rural activation through the use of renewable energy:**

A Case study of Solar Sharing power generation

2018.9

東京農工大学大学院  
連合農学研究科  
農林共生社会科学専攻

Science on Agricultural Economy and Symbiotic Society  
United Graduate School of Agricultural Science  
Tokyo University of Agriculture and Technology

關 信彦  
Nobuhiko SEKI

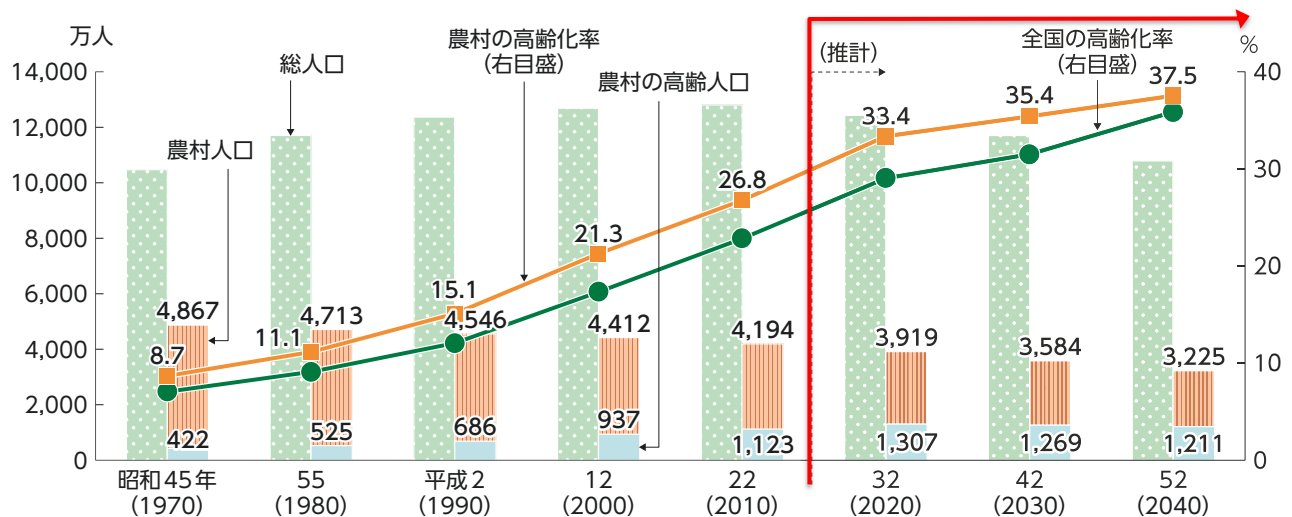


## 序章 ☒

### 第一節 我が国における農村人口の減少と高齢化 ☒

我が国の人口は、2008年をピークに減少傾向<sup>1</sup>にある。農村部における人口の推移は1970年代以降、2%~3%の漸次減少傾向にあり、今後はその減少が加速化される見通しとなっている。

高齢化に関しては、農村のみならず都市においても進行するが、とりわけ農山漁村では急速に過疎化と高齢化が進展している。J. Scobie et al (2015)<sup>2</sup>は、高齢化社会ランキング第8位にある日本は、人口の3分の1が60歳以上の人で占められる超高齢化国であるが、1960年代に包括的な福祉政策を導入し、普遍的な医療、普遍的な社会年金、所得再配分計画の採用により、失業率が低く、漸進的な課税が行われている。この投資により、健康的な労働力と長寿をもたらし、日本は単に最も高齢化した国ではなく、世界で最も健康で豊かな国の一つであるとしている。確かに、地球全体を見渡せば、2018年の時点で、日本の高齢者は、福祉、医療、年金等あらゆる観点で恵まれていると言える。しかし、2025年を境に、これまで地域活動を担っていた高齢者人口も減少に転じる見られることから、農地等の資源やコミュニティの維持が困難となることが懸念される。



図序-1 農業人口と高齢化の変遷

総務省「国勢調査」、国立社会保障・人口問題研究所「日本の地域別将来推計人口（平成25年3月推計）」を基に農林水産省で推計に筆者加筆

(注1) 国勢調査における人口集中地区（DID）を都市、それ以外を農村とした。

(注2) 高齢化率とは、人口に占める65歳以上の高齢者の割合

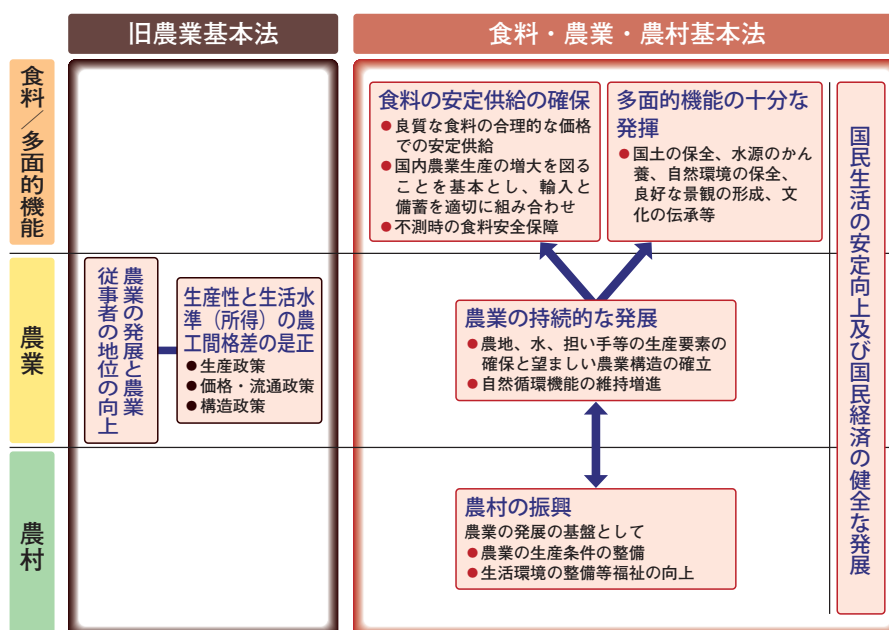
## 第二節 食料・農業・農村基本法

政府は、旧農業基本法（1961）<sup>3</sup>に代わるものとして、食料・農業・農村基本法（2009）<sup>4</sup>を施行した。旧農業基本法は、農業と他産業との間に、生産性及び従事者の生活水準の格差が拡大していることから、農業の自然的、経済的、社会的制約による不利を補正し、他産業との生産性の格差が是正されることを目指すものであった。条文としては、第1条、農業の生産性向上と農業従事者の所得増大を目的とし、第2条、この達成に向け、国に対し、消費需要の拡大が見込まれる野菜・果樹・畜産への生産転換、経営規模の拡大、機械化、農業経営の近代化等の施策を講ずることを求めている。

一方、食料・農業・農村基本法は、①食料の安定供給の確保（第2条）、②多面的機能の発揮（第3条）、③農業の持続的な発展（第4条）及び④農村の振興（第5条）の4つの基本理念を掲げている。農業だけでなく食料・農村の分野も対象とし、食料・農業・農村に関する新たな政策を確立することを目指している（2012年、大川<sup>5</sup>）。食料・農業・農村基本法（2009）は、第三条において「国土の保全、水源のかん養、自然環境の保全、良好な景観の形成、文化の伝承等、農村で農業生産活動が行われることにより生ずる食料その他の農産物の供給の機能以外の多面にわたる機能については、国民生活及び国民経済の安定に果たす役割にかんがみ、将来にわたって、適切かつ十分に発揮されなければならない」としている。

この農業・農村の持つ多面的機能こそが、語弊を恐れずに言えば、日本の風土を生み出し支えてきた社会の下部構造であり、日本文化を醸成するためのインキュベーターであるから、何としても維持するべきものである。

祖田ら（2001）<sup>6</sup>は、農業・森林の多面的機能について、持続的食料供給による信頼性、物質循環系を補完することによる環境への貢献、生産・生活空間の一体性と地域社会の形成・維持、生物多様性保全、地球環境保全、土砂災害防止/土壌保全、水源涵養、快適環境形成、保健・レクリエーション、文化、物質生産等の観点から定性的・定量的評価を行い、二次的自然としての農業とその多面的機能の重要性について国民的合意形成が緊要な課題だとしている。また、農業・農村の多面的機能は、食料と環境という人類生存にとって最も重要な課題と密接に関与しており、人口爆発の過程にあってグローバルな視点なしには解決できないとしている。食料・農業・農村基本法（2009）においても、この農業・農村の多面的機能の発揮が農業・農村を支援する根拠の一つと位置付けられている。



図序-2 食料・農業・農村基本法と旧農業基本法の比較

Source: 農林水産省, 2009, 「平成 21 年度 食料・農業・農村白書」, p.4

### 第三節 食料・農業・農村基本計画

食料・農業・農村基本計画（2015）<sup>7</sup>は、①食料，農業及び農村に関する基本的な方針，②食料自給率の目標，③食料，農業及び農村に関し，政府が総合的かつ計画的に講ずべき施策，④食料，農業及び農村に関する施策を総合的かつ計画的に推進すること等，4つの事項から構成されている。

2000年，2005年の基本計画では，食料自給率目標45%（2015年度，供給熱量ベース）の実現を柱に据え，2010年の基本計画では，食料自給率目標50%（2020年度）という意欲的な目標を掲げていたが，2015年度では，食料自給率目標45%（平成27年度，供給熱量ベース）の実現を柱に据えている。また，前回の戸別所得補償制度は廃止され，食料の安定供給の確保，農業の持続的な発展，農村の振興，東日本大震災からの復旧・復興，農協改革・農業委員会の再編整備を骨子として，食料・農業・農村に関する施策を一体的に推進している。

表序-2，図序-3から分かるように，供給熱量ベースの食料自給率については，半世紀にわたり長期低減傾向にあるだけでなく，すでに10年以上改善が見られていない。さらに，農地は，1961年の608.6万haから，2017年7月時点で444.4万haと27%減少<sup>8</sup>している。また，農地の流動化，集落営農から認定農業者への移行等を含む大規模経営体への農地集積は進んでいると考えられるものの，農業経営体数は1970年の540.2万戸から，2017年では125.8万戸と1/4以下に減少<sup>9</sup>しており，農政は時代の変化に即してうまく機能しているとはいえない状況である（表序-1）。農業・農村の持つ多面的機能を維持発展さ

せるためには、我が国の農地の持つ潜在生産能力を活用し、不測時における食料安全保障を確立するためにも農業構造の抜本的な改革が必要である。

表序-1 農業経営体数の推移

|                    | 1970  | 1975  | 1980  | 1985  | 1990  | 1995  | 2000  | 2005  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 家族経営体数<br>(農業経営体数) | 5,402 | 4,953 | 4,661 | 4,376 | 2,971 | 2,651 | 2,337 | 1,963 | 1,679 | 1,618 | 1,564 | 1,514 | 1,471 | 1,377 | 1,318 | 1,258 |

(単位：千戸)

農林水産省「農業経営構造の変化」, 「農業構造動態調査」より筆者作成  
 (注1) 農林水産省「農林業センサス」(2010年まで, 2015年),  
 「農業構造動態調査」(2011~2014年及び2016, 2017年)。  
 (注2) 1985年までは総農家, 1990年以降は販売農家, 2010年以降は農業経営体数。

表序-2 食料自給率の推移(1960-2016)

| 品目\年度                | 1960 | 1965 | 1970 | 1975 | 1980 | 1985 | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 米                    | 102  | 95   | 106  | 110  | 100  | 107  | 100  | 104  | 95   | 95   | 94   | 94   | 96   | 95   | 97   | 96   | 96   | 96   | 97   | 98   | 97   |
| うち主食用                |      |      |      |      |      |      |      |      | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 小麦                   | 39   | 28   | 9    | 4    | 10   | 14   | 15   | 7    | 11   | 14   | 13   | 14   | 14   | 11   | 9    | 11   | 12   | 12   | 13   | 15   | 12   |
| 大麦                   | 104  | 57   | 28   | 8    | 13   | 14   | 12   | 8    | 7    | 8    | 7    | 8    | 10   | 7    | 7    | 7    | 8    | 8    | 8    | 9    | 8    |
| はだか麦                 | 112  | 123  | 73   | 98   | 98   | 100  | 92   | 70   | 105  | 75   | 108  | 117  | 120  | 85   | 109  | 117  | 100  | 88   | 83   | 58   | 37   |
| 大・はだか麦計              | 107  | 73   | 34   | 10   | 15   | 15   | 13   | 8    | 8    | 8    | 8    | 9    | 11   | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    | 9    | 9    | 9    |
| 雑穀                   | 21   | 5    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| いも類                  | 100  | 100  | 100  | 99   | 96   | 96   | 93   | 87   | 83   | 81   | 80   | 81   | 81   | 78   | 76   | 75   | 75   | 76   | 78   | 76   | 74   |
| かんしょ                 | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 99   | 99   | 93   | 92   | 94   | 96   | 94   | 93   | 93   | 93   | 93   | 94   | 94   | 94   |
| ばれいしょ                | 101  | 100  | 100  | 99   | 94   | 95   | 90   | 83   | 78   | 77   | 76   | 77   | 76   | 73   | 71   | 70   | 71   | 71   | 73   | 71   | 69   |
| でんぷん                 | 76   | 67   | 41   | 24   | 21   | 19   | 13   | 12   | 9    | 10   | 9    | 10   | 10   | 9    | 8    | 8    | 9    | 9    | 9    | 9    | 7    |
| 豆類                   | 44   | 25   | 13   | 9    | 7    | 8    | 8    | 5    | 7    | 7    | 7    | 7    | 9    | 8    | 8    | 9    | 10   | 9    | 10   | 9    | 8    |
| 大豆                   | 28   | 11   | 4    | 4    | 4    | 5    | 5    | 2    | 5    | 5    | 5    | 6    | 6    | 6    | 6    | 7    | 8    | 7    | 7    | 7    | 7    |
| その他の豆類               | 90   | 70   | 65   | 45   | 30   | 40   | 41   | 36   | 28   | 29   | 24   | 26   | 30   | 22   | 24   | 23   | 27   | 27   | 29   | 25   | 14   |
| 野菜                   | 100  | 100  | 99   | 99   | 97   | 95   | 91   | 85   | 81   | 79   | 79   | 81   | 82   | 83   | 81   | 79   | 78   | 79   | 79   | 80   | 80   |
| 果実                   | 100  | 90   | 84   | 84   | 81   | 77   | 63   | 49   | 44   | 41   | 38   | 40   | 41   | 42   | 38   | 38   | 38   | 40   | 42   | 41   | 41   |
| みかん                  | 111  | 109  | 105  | 102  | 103  | 106  | 102  | 102  | 94   | 103  | 99   | 99   | 101  | 95   | 105  | 103  | 103  | 104  | 100  | 100  | 100  |
| りんご                  | 102  | 102  | 102  | 100  | 97   | 97   | 84   | 62   | 59   | 52   | 52   | 49   | 54   | 58   | 58   | 52   | 55   | 55   | 56   | 59   | 60   |
| 肉類                   | 93   | 93   | 89   | 76   | 80   | 81   | 79   | 57   | 52   | 54   | 56   | 56   | 56   | 58   | 56   | 54   | 55   | 55   | 55   | 54   | 53   |
| 肉類(豚肉を除く)            | 91   | 90   | 89   | 77   | 81   | 81   | 70   | 57   | 52   | 54   | 56   | 56   | 56   | 58   | 57   | 54   | 55   | 55   | 55   | 54   | 53   |
| 牛肉                   | 96   | 95   | 90   | 81   | 72   | 72   | 51   | 39   | 34   | 43   | 43   | 44   | 43   | 43   | 42   | 40   | 42   | 41   | 42   | 40   | 38   |
| 豚肉                   | 96   | 100  | 98   | 86   | 87   | 86   | 74   | 62   | 57   | 50   | 52   | 52   | 52   | 52   | 55   | 53   | 52   | 53   | 54   | 51   | 50   |
| 鶏肉                   | 100  | 97   | 98   | 97   | 94   | 92   | 82   | 69   | 64   | 67   | 69   | 69   | 70   | 70   | 68   | 66   | 66   | 66   | 67   | 66   | 65   |
| その他の肉                | 50   | 21   | 8    | 2    | 2    | 3    | 3    | 6    | 10   | 9    | 10   | 11   | 11   | 13   | 12   | 12   | 12   | 13   | 11   | 11   | 6    |
| 魚介類                  | 100  | 107  | 100  | 72   | 46   | 47   | 67   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 133  | 150  | 60   | 67   | 50   | 40   | 60   |
| 鶏卵                   | 101  | 100  | 97   | 97   | 98   | 98   | 98   | 96   | 96   | 94   | 96   | 96   | 96   | 96   | 96   | 95   | 95   | 95   | 95   | 96   | 97   |
| 牛乳及び乳製品              | 89   | 89   | 89   | 81   | 82   | 83   | 72   | 68   | 68   | 67   | 66   | 66   | 66   | 70   | 71   | 67   | 65   | 65   | 64   | 63   | 62   |
| 魚介類                  | 108  | 100  | 102  | 99   | 97   | 93   | 79   | 57   | 53   | 51   | 52   | 53   | 53   | 53   | 55   | 52   | 52   | 55   | 55   | 55   | 53   |
| うち食用                 | 111  | 110  | 108  | 100  | 97   | 86   | 72   | 59   | 53   | 57   | 60   | 62   | 62   | 62   | 62   | 58   | 57   | 60   | 60   | 59   | 56   |
| 魚介類(調肥料の<br>えんじょう)   | 110  | 109  | 108  | 102  | 104  | 96   | 86   | 75   | 62   | 62   | 65   | 65   | 69   | 63   | 67   | 61   | 61   | 62   | 64   | 64   | 59   |
| 海藻類                  | 92   | 88   | 91   | 86   | 74   | 74   | 72   | 68   | 63   | 65   | 67   | 71   | 71   | 72   | 70   | 62   | 68   | 69   | 67   | 70   | 69   |
| 砂糖類                  | 12   | 19   | 15   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 砂糖類(沖縄県を含む)          | 18   | 31   | 22   | 15   | 27   | 33   | 32   | 31   | 29   | 34   | 32   | 33   | 38   | 33   | 26   | 26   | 28   | 29   | 31   | 33   | 28   |
| 油脂類                  | 42   | 31   | 22   | 23   | 29   | 32   | 28   | 15   | 14   | 13   | 13   | 13   | 14   | 13   | 13   | 13   | 13   | 13   | 13   | 12   | 12   |
| 植物油脂                 | 31   | 19   | 11   | 8    | 7    | 5    | 4    | 3    | 3    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 3    | 3    | 3    | 2    | 2    | 2    |
| 動物油脂                 | 60   | 55   | 46   | 69   | 94   | 124  | 113  | 68   | 70   | 72   | 74   | 77   | 74   | 81   | 79   | 77   | 76   | 80   | 80   | 79   | 80   |
| きのこ類                 | -    | 115  | 111  | 110  | 109  | 102  | 92   | 78   | 74   | 79   | 81   | 83   | 86   | 87   | 86   | 87   | 86   | 87   | 88   | 88   | 88   |
| 飼料用を含む穀物全体の自給率       | 82   | 62   | 46   | 40   | 33   | 31   | 30   | 30   | 28   | 28   | 27   | 28   | 28   | 26   | 27   | 28   | 27   | 28   | 29   | 29   | 28   |
| 主食用穀物自給率             | 89   | 80   | 74   | 69   | 69   | 69   | 67   | 65   | 60   | 61   | 60   | 60   | 61   | 58   | 59   | 59   | 59   | 59   | 60   | 61   | 59   |
| 供給熱量ベースの総合食料自給率      | 79   | 73   | 60   | 54   | 53   | 53   | 48   | 43   | 40   | 40   | 39   | 40   | 41   | 40   | 39   | 39   | 39   | 39   | 39   | 39   | 38   |
| 酒類を含む供給熱量ベースの総合食料自給率 | -    | 73   | 59   | 54   | 52   | 52   | 47   | 42   | 38   | 38   | 37   | 38   | 39   | 37   | 36   | 36   | 36   | 36   | 37   | 37   | 35   |
| 生産額ベースの総合食料自給率       | 93   | 86   | 85   | 83   | 77   | 82   | 75   | 74   | 71   | 69   | 68   | 66   | 65   | 70   | 69   | 67   | 67   | 65   | 64   | 66   | 68   |
| 純国内産飼料自給率            | -    | 55   | 38   | 34   | 28   | 27   | 26   | 26   | 26   | 25   | 25   | 25   | 26   | 25   | 25   | 26   | 26   | 26   | 26   | 27   | 28   |

「平成 28 年度食料自給表」，農林水産省大臣官房政策課 食料安全保障室，e-Stat より筆者作成

(注 1) 米については，国内生産と国産米在庫の取崩しで国内需要に対応している実態を踏まえ，平成 10 年度から国内生産量に国産米在庫取崩し量を加えた数量を用いて，次式により品目別自給率，穀物自給率及び主食用穀物自給率を算出している。

$$\text{自給率} = \text{国産供給量 (国内生産量 + 国産米在庫取崩し量)} / \text{国内消費仕向量} \times 100 \text{ (重量ベース)}$$

なお，国産米在庫取崩し量は，22 年度が 150 千トン，23 年度が 224 千トン，24 年度が ▲371 千トン，25 年度が ▲244 千トン，26 年度が 126 千トン，27 年度が 261 千トン，28 年度が 86 千トンである。

また，飼料用の政府売却がある場合は，国産供給量及び国内消費仕向量から飼料用政府売却数量を除いて算出している。

(注 2) 品目別自給率，穀物自給率及び主食用穀物自給率の算出は次式による。

$$\text{自給率} = \text{国内生産量} / \text{国内消費仕向量} \times 100 \text{ (重量ベース)}$$

(注 3) 供給熱量ベースの総合食料自給率の算出は次式による。ただし，畜産物については，飼料自給率を考慮して算出している。

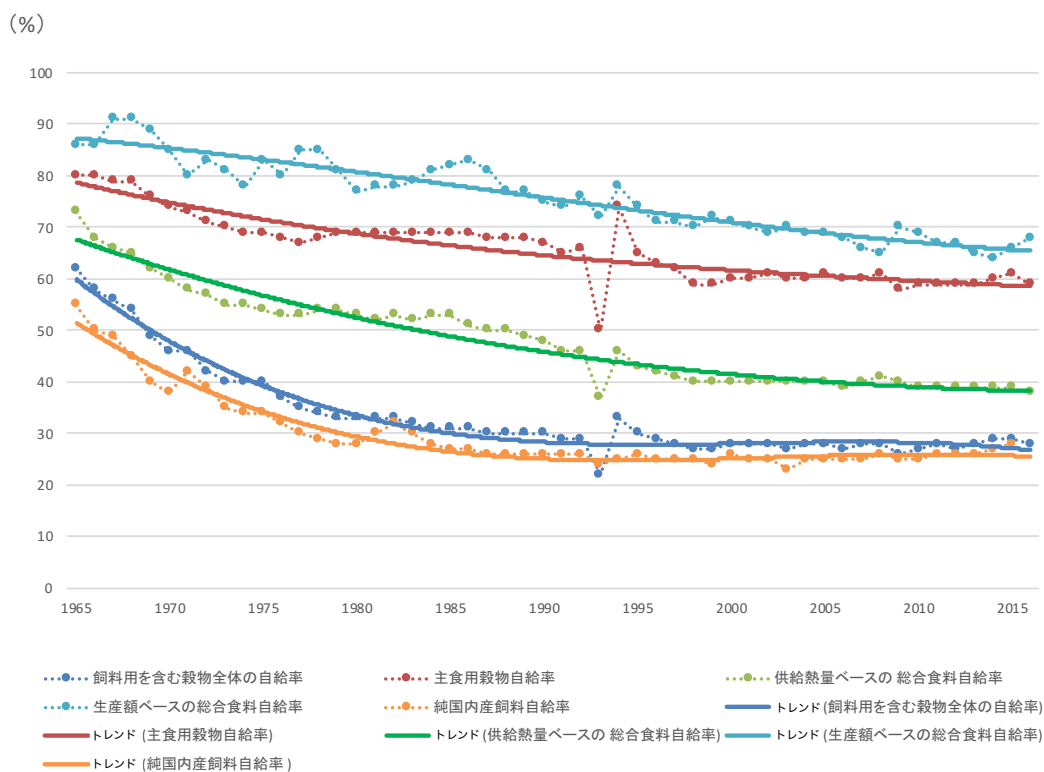
$$\text{自給率} = \text{国産供給熱量} / \text{国内総供給熱量} \times 100 \text{ (供給熱量ベース)}$$

(注 4) 生産額ベースの総合食料自給率の算出は次式による。ただし，畜産物及び加工食品については，輸入飼料及び輸入食品原料の額を国内生産額から控除して算出している。

$$\text{自給率} = \text{食料の国内生産額} / \text{食料の国内消費仕向額} \times 100 \text{ (生産額ベース)}$$

(注 5) 飼料自給率については，TDN (可消化養分総量) に換算した数量を用いて算出している。

(注 6) 肉類 (鯨肉を除く)，牛肉，豚肉，鶏肉，鶏卵，牛乳・乳製品の ( ) については，飼料自給率を考慮した値である。



図序-3 食料自給率の推移（1965-2016）

「平成 28 年度食料自給表」，農林水産省大臣官房政策課 食料安全保障室，e-Stat より筆者作成

#### 第四節 農業・農村の多面的機能の維持する必要性

農業・農村の多面的機能の維持のためには，健全な経済活動の維持，労働環境の維持等，過疎化と高齢化を食い止め，農山漁村のコミュニティを維持する方策が不可欠である。一方，昨今のネガティブな状況から視点を切り替えれば，我が国の農山漁村は再生可能エネルギーの宝庫であり，未利用，未活用の資源を活かすことで，農山漁村あるいは村落共同体の新たなライフスタイルを獲得できる可能性がある。

すでに，EU 各国では，土地生産性あるいは収率土地換算比 (Land Equivalent Ratio: LER) を上げる方策として農地における再生可能エネルギー活用の研究が始まっている。ドイツ，フランス，イタリア等では，食料生産+エネルギー生産により LER が，130~170%以上に向上することが報告されている。この LER の向上が意味するところは，再生可能エネルギーにより，発電による CO<sub>2</sub> を低減させ地球温暖化防止に寄与すると同時に，農業従事者に直接的な経済的メリットをもたらす点にある。

我が国においても，2011 年の東日本大震災と福島第一原子力発電所事故を受けて，2012 年に施行された「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法 (FIT 法)」により，再生可能エネルギーによる発電事業



は、電力エネルギー産業における多くの新規参入者を生み出し、発電市場という新たな市場を活性化させている。再生可能エネルギーの活用は、再生可能エネルギー事業者のみに利益をもたらすだけではなく、農山漁村のコミュニティの維持と再生を図る可能性があり、同時に地球温暖化防止に寄与するものである。

## 第五節 本研究について

まずは、この研究における論旨をまとめてみたい。

本研究においては、再生可能エネルギー活用による農村の多面的機能の維持・発展への寄与と地球温暖化防止への貢献の定量化、政策上の課題を明らかにすることを目的としている。

### 第一項 デフレ脱却のための仮説

現在、我が国は、長期低迷状態にあり、デフレから脱出するための方策が見えていないという状況が、四半世紀も続いている。我が国は、この過程で多くの活力を失った。すなわち、人口は減少し、高齢化が急速に進行し、社会保障関連費用は膨張し、国内市場は縮小し、年金は実質的な破綻状態となり、国際競争力は陰りを見せ、1人あたりGDPは中位国へと転落し、自殺率は高く、可処分所得の実質値から見た貧困率は上昇する等、多くの問題を解決できないまま先送りしている。

特に、社会保障関連費用は140兆円に迫っており、少子高齢化傾向がボティブローのように国家財政に対して効いてきている。国内総生産は、500兆円から540兆円を推移しており、アベノミクスに投入した国富の大きさを考慮すれば、デフレ脱却に至っていないことは明らかである。このような厳しい財政状況が続く中、子どもたちや若者への投資が充分に行われていない。また、政権基盤を安定させるために、既得権益者に対する政策が厚く、起業家の増加や規制緩和がドラスティックに進まない状況が続いている。

日本はこのまま中位国へ転落したまま、成長できないのだろうか？一方、世界に目を転じれば、数多くの国が成長している。シンガポールの1人あたり購買力平価GDP（GDP at Purchasing Power Parity per capita）は、すでに日本の2倍以上になっている<sup>10</sup>。シンガポールが、積極的な移民受け入れによる成長戦略を選択したのに対して、我が国は、超高齢化社会に向かいながらも、移民を嫌い躊躇したため、新興国を含めた経済のグローバル化の中で、成長の機会を自ら放棄することとなった。そして、それが必要以上に長く続いたため、自らの固有の国内市場そのものが縮小し始めた。

この状況での経済成長は、かなり厳しい。歴史上、どの国も人口を減少させながらGDPを大きくした国はない。

古典的な経済学の理論に戻り、もう一度成長の方法論を考えてみたい。いったい、日本のGDPを増加させるにはどうすべきなのだろうか。

ケインズ経済学では

生産面は、

$$\text{GDP} = Y$$

支出面は、

$$= \text{消費} + \text{投資} + \text{政府支出} + (\text{輸出} - \text{輸入})$$

$$= C + I + G + (X - M)$$

分配面は、

$$= \text{消費} + \text{貯蓄} + \text{税金}$$

$$= C + S + T$$

と表せられる。

三面等価の原則から

$$\text{GDP} = Y = C + I + G + (X - M) = C + S + T$$

Y: Yield

D: Demand

C: Consumption

I: Investment

G: Government expenditure

X: eXport

M: iMport

S: Save

T: Tax

となる。

再生可能エネルギーにより、電気エネルギーの国産化することを需要均衡式から考えると、「三面等価の原則」から、生産面つまり「総供給」と、支出面つまり「総需要」は等しくなるから、

$$Y = C + I$$

消費は、

$$C = C_0 + c_1 \cdot Y$$

消費 = 基礎消費 + 限界消費性向 × 国民所得

C<sub>0</sub>: 基礎消費

C<sub>1</sub>: 限界消費性向 (0 < c<sub>1</sub> < 1)

と表すことができる。

現状は、基礎消費のみで限界消費性向が小さく投資されない状態と言える。

① 需給均衡式  $Y = C + I$

② 消費関数  $C = C_0 + c_1 \cdot Y \quad (0 < c_1 < 1)$

投資「I」に定数として与えられた数値として、「I<sub>0</sub>」を置くと

$$Y = 1 / (1 - c1) \cdot (C0 + I0)$$

ここで投資を  $I0$  から  $\Delta I0$  に変化させると

$$\Delta Y = 1 / (1 - c1) \cdot (\Delta C0 + \Delta I0)$$

「基礎消費」( $C0$ ) は変化しないと仮定すると、「 $\Delta C0 = 0$ 」となり

$$\Delta Y = 1 / (1 - c1) \cdot \Delta I0$$

ここから、投資を変化させたら ( $\Delta I0$ )、その「 $1 / (1 - c1)$ 」倍だけ均衡国民所得が変化する ( $\Delta Y$ )

この  $c1$  を大きくするための方法があれば、日本の GDP は成長軌道に戻るはずである。

この場合、 $\Delta I0$  は長期に渡り投資できるものでなくてはならない。短期間で投資が終了してしまうと、 $c1$  が変化せず後戻りする可能性があるためである。

人類の経済活動とその結果としての  $CO_2$  排出と、さらにその影響としての気候変動は、化石燃料の燃焼をベースにした社会システムのドラスティックな改革を人類に要求している。もちろん、このままの経済活動を続けて、人類が地上からいなくなるというシナリオも選択肢のひとつかもしれない。しかし、人類は生き残りをかけて、環境の不可逆的な変化に至らない道を選択した<sup>11</sup>。

この社会システムの変革に必要な投資は、この地球上での投資としては相当大きなものである。今ある石油・天然ガス・石炭の埋蔵量の 8 割は、座礁資産となると推計されている<sup>12</sup>。あらゆるものを残塁 (stranded = 取り残されたは野球用語でもある) させたとしても、やり遂げなくてはならない。もちろん、化石資源を利用するためのインフラも、強大で莫大なものである。その投資は、1870 年以降、とりわけ人口が大きく社会システムの洗練された地域を皮切りに、地球上のいたるところで途切れることなく繰り返されてきた。

また、この社会システムの変革は、日本がその殆どを輸入に頼っているエネルギー資源の半分近くを、再生可能エネルギーに切り替え、自国で賄うことを意味している。幸い我が国は急峻な山があり、川があり、森があり、太陽があり、風があり、火山があり、自然とそのエネルギーに溢れている。はっきりとした四季があり、美しい風景があることとは裏腹に、梅雨や大雨や台風や大雪があることは、これまで我が国にとって不利な点であり、厄介なことだった。

しかし、これからは、この自然の力をテクノロジーによって、味方につけなければ行けない時代となったのである。

## 第二項 第一章の目的と要約

本研究は、本章を含めて七章で構成される。

第一章は、気候変動と経済活動に関するものである。国際連合の活動を中心に世界の中で気候変動問題がどのような扱われてきたのかについて問題点の整理・分析をしている。気候変動問題がすでに人類共通の課題であること、21 世

紀半ばまでには解決しなければならないこと，これを解決しなければ気候変動が人類にとって不可逆的で重大な影響を与えること，すでに気候変動が人類の経済活動に大きな影響と被害を与えていること，気候変動を解決するためには，地球規模で脱炭素社会構築を実現する必要があること等を明らかにすることを目的としている。

1988年に国連総会は気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change：IPCC）を設置することを決議し，気候と気候変動の科学的知識，地球温暖化を含む気候変動の社会的，経済的影響に関するプログラムと研究，有害な気候変動の影響を遅らせ，制限または緩和させるために可能な応答戦略，気候に関わる現行の国際法律文書の特定とその強化の可能性，将来合意される可能性のある気候に関する国際条約に含むべき要素等の点に関する包括的なレビューと勧告を速やかに行うよう要請した<sup>13</sup>。

IPCCは，これまでに5回の評価報告書を提出している。特に直近の第5次評価報告書においては，気候変動における人間の影響の検出と特性について，大気及び海洋の温暖化，地球規模の水循環の変化，雪と氷の減少，地球平均海面上昇，いくつかの気候の極端な変化等が報告されている<sup>14</sup>。20世紀半ば以降，人間の影響が観測された温暖化の支配的要因である可能性が（95%以上の確率で）極めて高いとなっており，前回の第四次評価報告書（AR4）の可能性が（90%以上の確率で）非常に高いという表現から，さらに踏み込んだものとなっている。

この報告書に関連した研究の過程から，いろいろなデータやシナリオを駆使する中で，人類に許されたCO<sub>2</sub>排出量が残り1兆トンしかないというカーボンバジェットの考えが提示された<sup>15</sup>。2000年から2017年までに，すでに450GtCO<sub>2</sub>の温室効果ガス（GREEN HOUSE GAS: GHG）が排出されていると推計されることから，カーボンバジェットの重要性を至急再認識しなくてはならない。

地球温暖化を懸念する活動は，1980年代より長きに渡って継続している。1997年に京都で開催されたCOP3にて京都議定書が採択され，2020年までの温室効果ガス排出削減の目標が定められた。京都議定書では日本を含む先進国のみに削減目標に基づく削減義務が課せられ，主要排出国である米国や中国・インドといった先進国よりGHGを排出する新興国が削減義務を負っていないため，京都議定書の枠組みは機能することが難しくなった。

こういった状況の中，2015年に合意された，パリ協定は，地球規模の平均気温の上昇を工業化以前の水準よりも2°Cをはるかに下回る水準に保つことのできるGHG排出量にすること，工業化前のレベルよりも1.5°C高い温度に制限する努力を追求し，世界全体のGHG排出量を実質ゼロにすること等を目標に掲げている。同協定は，197の国・地域により合意され，2016年11月4日，欧州連合の批准により発効された。これらの目標達成のためには，締約国が，IPCCの報告やIEAの提言に注意深く耳を傾け，地球規模での脱炭素社会を構築していくことが重要である。

### 第三項 第二章の目的と要約

第二章は、日本の農村が抱えている問題について、人口減少、過疎化、高齢化、日本経済の低迷と世界シェアの低下、地方経済の弱体化等が複合的に生じ、かつ進展しており、急速に日本の競争力が失われていることを明らかにし、成長のための仮説を検証することを目的としている。

明治維新以降、農村は我が国の戦略に合わせるように、常に社会の発展のための資源と人材を提供し続けてきた。それでも、日本の農村は豊かで、未来永劫、疲弊することはないように信じられてきた。しかし、今、日本の農村がシステム疲労を起こし、機能不全に陥ろうとしている。

日本の農村、その多面的機能は、食料生産にとどまることなく、国土の保全、水源のかん養、自然環境の保全、良好な景観の形成、文化の伝承等に及び、将来にわたって、適切かつ十分に発揮されなければならないものである。この農業・農村の持つ多面的機能こそが、日本の風土を生み出し支えてきた社会の下部構造であり、日本文化を醸成するためのインキュベーターであるから、何としても維持するべきものである。

日本の総人口は、2008年の約1億2,808万人をピークに減少に転じており<sup>16</sup>、生産年齢人口に関しても、1995年の約8,716万人をピークに減少の一途を辿り、2016年には7,656万人になった<sup>17</sup>。農村は都市よりも概ね20年ほど早く、高齢化が進行しているとされている。農業集落調査（1990, 2000）、農山村地域調査（2010）によると、農業地域における集落数は全般的に減少傾向にあり、特に中間農業地域、山間農業地域における総戸数の減少した集落の割合は、1990年代の39.5%、48.9%から、2000年代には57.6%、66.2%と18ポイント近く上昇していることから、将来的な集落の維持機能が懸念される<sup>18</sup>。

高齢化の急速な進展も大きな懸念事項である。高齢化率は27.3%、高齢者数は3,459万人となった。現在の人口動態が続けば、2025年には30%が、2050年には37.7%が高齢者となり、生産年齢人口1.4人に対してひとりの高齢者を支えることになる<sup>19</sup>。

さらに経済も低迷したまま、改善の兆しが見えていない。我が国の名目GDPは、1993年から2018年に至るまでの間4.5兆ドルから6兆ドル（円ベースでは500兆円から550兆円、2008SNA基準）の間で概ね横ばいに状態であり、実質的な成長が見られない。世界における日本の1人当たりGDPの順位は、1990年代はトップ10圏内であったが、2000年代に入って急激に競争力を失い、IMFのデータでは2017年は25位、OECD加盟国35カ国の中では20位まで低下している。現在、経済成長政策の中心となっている製造業には、かつてほどGDPを押し上げる力はなく、新たな成長分野への移行と急速な産業の新陳代謝が必要である。

続いて、農村の課題と方策についても検討した。農村は、あと数年から10数年で多くの高齢者が生産に携わることが困難になり、さらに機能低下を起こすと考えられる。農村及び地方自治体は、社会保障支出を中心に、全国的に公需等への依存を高めており、小さな自治体ほど公需等への依存度が高く、財政力は低いいため、持続可能とはいえない状況が続いている。地域の人口急減という

危機を直視し、地域は自らの経済基盤を確立すべきであろう。国は、地域の知恵や意欲を喚起するよう環境整備し、そのアイデアを実現するに際しての障害や規制を取り除くべきである。さらに無居住化地域の拡大も徐々に深刻化しつつある。

いろいろな問題を抱えているとはいえ、食料自給率が低く、あらゆる点で海外に依存していることから、国内問題のみに注視するのではなく、常に世界の中の日本を意識しながら活動していく必要がある。

#### 第四項 第三章の要約

第三章は、我が国のエネルギー政策を時系列で整理し、再生可能エネルギー利活用への経緯について分析するとともに、太陽光発電、風力発電、バイオマス発電、中小水力発電、地熱発電の普及状況を明らかにした上で、再生可能エネルギーの主力電源化に向けての動向を明らかにすることを目的としている。

第一節は、我が国のエネルギー政策の経緯について、調査した結果をまとめている。エネルギー資源の乏しい我が国においては、一次エネルギーの自給率はわずか8.3%(2018)であり<sup>20</sup>、原油に至っては99.7%を輸入に頼っている。我が国は、二度のオイルショックを経験し、エネルギーミックスと呼ばれる多様な電源構成による発電と省エネ技術を確立することで電源を確保してきた。しかし、2011年3月11日の東日本大震災による福島第一原子力発電所事故以降、原子力発電所の安全性に対する疑問が広く呈されるようになり、再生可能エネルギー利用への関心が高まっている。

エネルギー資源に乏しい我が国の再生可能エネルギー開発の歴史は、「オイルショックと省エネルギー技術の開発期」(1972～1990年間)、「再生可能エネルギー利用への政策的支援期」(1991～2010年間)と「東日本大震災の発生による本格的事業展開期」(2011年以降)の3期に大別される。我が国でソーラーシェアリング発電が発明され実用化されるまでには、農地における実験的な発電設備の設置、再生可能エネルギー固定価格買取制度のスタート、農地のみなし転用の許可、農山漁村再生可能エネルギー法の成立等、さまざまな経緯があった。

第二節は、我が国の再生可能エネルギーの現状について、調査を行った結果を記述している。再生可能エネルギーの導入状況をFIT法導入以前とFIT法導入以降で比較すると、再生可能エネルギーの全体の発電量に占める割合は、2011年度の2.7%(水力発電を含めた場合には10.8%)から、2016年度には7.8%(水力発電を含めた場合には15.3%)に増加した。

太陽光発電は、固定価格買取制度以降では導入量・認定量とも最大で再生可能エネルギー全体の9割を占める。資源エネルギー庁(2016)は、2012年7月から2016年11月までの導入量を3,155万kWとしている。その内訳は、全体の83%が産業用太陽光発電であり、住宅用太陽光発電は17%程度である。今後もLCOEの低減が図られることから、世界的にこれからも継続的に投資が続くものと推測される。

日本における風力発電は未だに発電量の少ない発電方式だが、世界的には再

生可能エネルギーの主たる電源のひとつである。一般社団法人日本風力発電協会（2018）は、2017年末における風力発電の導入量は2,225基、設備容量340万kWとしている。一方、世界における風力発電の発電容量は5,257万kWとなっており、中国が世界の発電量の35%を占めている。

バイオマスは、大気中のCO<sub>2</sub>を吸収することで植物が成長するため、光合成で吸収したCO<sub>2</sub>=燃焼時に排出するCO<sub>2</sub>とされることから、「カーボンニュートラル」なエネルギーとされる。原料の性状や取扱形態等から大きく、木材、林地残材（間伐材・被害木等）、製材等残材、藁籾殻類、資源作物、飼料作物、デンプン系作物等の未利用バイオマスと家畜糞尿、食品廃材、建設資材廃棄物、紙、製紙業における黒液、下水汚泥、生ごみ等の廃棄物系バイオマスの二種類に分類される。木質バイオマス発電の認定量が2017年9月時点で1,599万kWとなっており、すでにエネルギーミックスで想定した2030年度の導入水準の3倍を超える状況となっている。一方、バイオガス発電は認定出力が約10.3万kWであり、目標数値の達成のためには更なる導入の推進が必要な状況である。

水力発電は、古くから利用されている再生可能エネルギー源である。ライフサイクルコスト、ライフサイクルCO<sub>2</sub>に優れ、太陽光発電や風力発電と比較して安定的に電力供給できるという特性がある。また、再生可能エネルギー電源であることから重要な電源と位置付けられている。一方、中小水力発電については未だ開発が進んでいないため、ポテンシャルがある状況である。また、今後は再生可能エネルギーの変動分を吸収する仕組みとして、揚水発電が有効である。

地熱発電とは、地表から地下深部に浸透した雨水、地表水等が地熱によって加熱され、高温の熱水・蒸気として貯えられている地熱貯留層から、坑井により地上に熱水・蒸気を取り出し、タービンを回して電気を起こす発電方式である。CO<sub>2</sub>の排出がなく、環境適合性に優れ、低廉で安定的な発電が可能なベースロード電源であるとされている。日本の地熱資源は、アメリカ、インドネシアに次ぐ世界第3位とされているものの、2015年度末には52万kWあった発電設備容量が2018年1月には46万kWと一割以上も減少しており、地熱発電の難しさを象徴している。

現在、日本における再生エネルギー利用は進んでいるとはいえない状況であるが、第五次エネルギー基本計画（2018）では、ようやく再生可能エネルギーの主力電源化が明記され、脱炭素社会への端緒が開かれたところである。今後は、第五次エネルギー基本計画に沿った形で、電力系統の中立性が担保され、設備容量の合計ではなく、実潮流ベースに変更することにより電力網の空き容量を削減し、インフラの効率的な運用が進んでいくと思われる。

また、再生可能エネルギーのボラティリティーの大きさに対して、需給調整市場の創設、稼働していない電力容量を買取る容量市場の導入、デマンドレスポンスによる需給調整、NAS電池・レドックスフロー電池等の大型蓄電池、発電予測・需要予測技術の高度化、余剰再エネ電気による水素製造等、再生可能エネルギーの本格的な利用に対する準備が進められている。

## 第五項 第四章の要約

第四章は、ソーラーシェアリング発電の事例について、現地調査を行い、実データに基づき経営モデルを構築し、経営分析をおこない、FIT 価格の低減による純利益推移のシミュレーションを行うとともに、優位性分析、国による施策の分析、脱炭素社会に対する貢献可能性分析、海外における展開事例の分析、および普及を妨げる要因分析を行なうことを目的としている。

ソーラーシェアリング発電は、光飽和点の特性により、耕作地や牧草地の余剰の太陽光線から農業を守ると同時に、電力を得る発電方法である。太陽光パネルは地上 3.0～3.5m の高さに十分な間隔をもって設置されること、小型トラクターの運行が可能な 5m という比較的広いスパンで太陽光パネルの支柱を設置すること等、通常の太陽光発電所とは明らかに違うユニークなデザインや農地における転用許可制度、営農に与える影響、収益性等について分析している。

制度創設から 5 年が経ち、営農型発電設備に対する農地転用許可上の取扱いについて、みなし転用の許可期間を 3 年から 10 年に延長する変更があった。背景としては、営農型太陽光発電の下部農地での農業生産や地域の農業の持続的な発展が図られるように農業政策の一環として位置付け、さらに推進すること、担い手の収入が拡大することで農業経営のさらなる規模拡大等を期待すること、荒廃農地が増加する中で、営農型発電設備を活用した荒廃農地の再生を期待すること等がある。

個々の農家がソーラーシェアリング発電を行う場合、みなし転用の許可を農業委員会から受けること自体に大きな問題はなさそうであるが、電力会社との固定価格買取契約は 20 年に及ぶため、20 年間の営農の保証が必須となる。昨今、農業者の高齢化が著しいため、20 年間に及ぶ営農の保証をどうやって担保するのが、ソーラーシェアリング発電を開始する際の大きな課題となっている。

ソーラーシェアリング発電では、農地の上部空間に一定の割合で日光の遮蔽物を設置することになることから、2013 年当初は、農作物への収穫量、品質に対する影響を懸念する声が多く聞かれた。ヒアリング調査の結果、収穫量の低下、品質の低下等の問題は聞かれなかったが、科学的データが乏しいことから、今後は農業研究の一分野として知見を積み上げていく必要がある。

ソーラーシェアリング発電は電力事業としての収益、営農への寄与、発電事業により余分な作業が発生しないこと等から、農家が取り組むべき事業である。しかし、実際にはソーラーシェアリング発電の認定率は、産業用太陽光発電全体の 0.3%弱という設備認定状況であり、更なる政策的プロモーションが必要である。

さらに海外の事例を紹介し、食料生産とエネルギー生産を同時に行うことで、土地生産性あるいは収率土地換算比率 (Land Equivalent Ratio: LER) を飛躍的に高める、ソーラーダブルクロッピングという概念に注目が集まっている点について分析している。



## 第六項 第五章の要約

第五章は、パリ協定以降の農村開発についての研究である。経済成長と地球温暖化ガスの排出量を分離するデカップリングが世界中で進行していること、デカップリング実現のためには炭素生産性の向上が不可欠であること、日本がその中で大幅な遅れを取っていること、これまでの「量から質へ」という概念のパラダイムシフトが必要なこと、発電部門において大幅なCO<sub>2</sub>削減が可能であること、再生可能エネルギーによる発電が21世紀の約束された市場であること等から日本の農村の再生可能エネルギーの潜在力を明らかにすることを目的としている。

はじめに、デカップリングについて取り上げている。パリ協定に2°C目標が盛り込まれ、人類が排出できるCO<sub>2</sub>が残り1兆トンとなった。つまり炭素排出量が限られる中で、人類がSDGsを達成し、持続可能な成長を続けていくためには、少ない炭素投入量で高い付加価値を生み出し、炭素生産性(炭素投入量当たりの付加価値)を大幅に向上させることが不可欠である。21世紀においては、高い炭素生産性を実現できる国が持続的な経済成長を実現できると考えられる。

続いてグローバルエコノミーにおけるデカップリングについて、IEA、IMF、OECD、EU、EIAのデータを用いて分析している。IEAは、風力や太陽光の急速な展開を背景にした低炭素発電の大幅な拡大、世界のGDPに対するエネルギー強度の低下、中国の努力と米国における石炭からガスへの転換等、いくつもの要因により世界的な石炭使用量が減少する可能性があるとしている。

第四項では、炭素生産性をテーマとして、この概念の重要性について解析を試みている。

炭素生産性を上げるためには、炭素投入量の大幅削減とGDP・付加価値をどのようにして最大化させるのかという問題に突き当たる。1995年から2014年までの各国の生産ベースCO<sub>2</sub>排出量の変化とGDPの変化から理解できることは、日本はどちらかといえばデカップリングを実現できなていない国であるということである。炭素生産性という点では、インドネシア、チリ、トルコ、南アフリカ等の新興国と同程度であるが、その中でも日本の成長力は最も低い。このことは、1995年からの20年間日本が経済的に停滞状況にあっただけでなく、炭素生産性の向上もできていないことを表している。

次に、品質問題、CO<sub>2</sub>削減問題等についても、これまでの観念、あるいは産業構造に囚われ、解決ができていない点について分析している。電力の脱炭素化はエネルギー系商社、重電メーカーに関わるロジスティクス関連産業等の売上を一時的に大きく下げることになるが、海外に流出していた資金は国内で循環することになり、国内経済を刺激することになる。財務省貿易統計(2014)によると、我が国のエネルギーの総輸入額は約28兆円である。CO<sub>2</sub>の排出量から按分した発電関連のエネルギー輸入額は、エネルギー総輸入額×発電部門CO<sub>2</sub>排出量/全CO<sub>2</sub>排出量で約9.5兆円となる。各農業経営体が100kWのソーラーシェアリング発電をおこなったと仮定すると、発電容量は1億2,580万kWとなり、総排出量12億トンCO<sub>2</sub>(2016)の10.2%、発電部門CO<sub>2</sub>排出量の30%に相当する。また、ソーラーシェアリング発電を耕作放棄地に設

置した場合、年間発電量は 3,140 億 kWh となり、CO<sub>2</sub>削減量は 2 億 7 百万 t CO<sub>2</sub>/年となる。これは 2016 年度の電力需要の 34.5%に相当し、発電部門の CO<sub>2</sub>を 51%削減できることを意味している。

約束された市場としての世界規模の大規模エネルギーシフトは、エネルギー投資の見通しを大きく変えると考えられる。電力構成は、IEA の提唱する新政策シナリオ（NPS）では再生可能エネルギーが総エネルギー供給投資のほぼ半分を占め、持続可能な開発シナリオ（SDS）ではほぼ 3 分の 2 を占めるとしている。また、クリーンエネルギー技術とエネルギー効率向上のための電源開発投資は、新政策シナリオ（NPS）における供給と最終用途への累積投資で 60 兆ドル（110 円/ドルで、6,600 兆円）、持続可能な開発シナリオ（SDS）では 69 兆ドル（110 円/ドルで、7,590 兆円）の大部分を占めるとしている。

続いて、農村における地域エネルギー利用の意味を経済的な規模と合わせて分析している。地域により状況は様々であるものの、特に農村で高いポテンシャルを有する、再生可能エネルギーの導入をはじめとした気候変動対策により、地域のエネルギー収支を改善することは、足腰の強い地域経済の構築に寄与し、地方創生にもつながること、再生可能エネルギーに関連する事業等により新たな仕事・雇用を生むこと、労働力人口の域外流出を防ぐことにもつながり得ること等に加え、再生可能エネルギーの多くは自立分散型エネルギーでもあり、既存の電力系統に加えて自立分散型エネルギーが追加されることが災害時の強靱さの向上につながるため、国土強靱化にも資する等の効果も期待される。

さらに自然資本と生態系サービスの観点から農村の可能性について論じている。農村には、太陽光、水力、バイオマス、水力、風力、地熱等の再エネ資源が豊富に存在している。再生可能エネルギーの事業化は地域エネルギー収支の改善のみではなく、エネルギーの地産地消の実現、新たな雇用の創出、人口の回復、高齢化への歯止め等を通じて、農村の持つ多面的機能を維持・再生・強化していく可能性があることを示している。

また、気候変動と安全保障という観点から、農村を再生可能エネルギーの拠点へと変革していくことは、気候変動のリスクを小さく留めるための方法のひとつであり、近年では台風、停滞前線によって発生する大雨、洪水等の風水害が増えている。激甚災害の指定件数も増加しており、保険金支払額も大きい。

加えて、ソーラーシェアリング発電を農業とファイナンスをパッケージにして輸出することで、SDGs に貢献することが可能となる。SDGs は発展途上国のみならず、先進国自身に取り組む普遍的なものであり、食料生産と同時に電力を確保することにより、情報の取得、外部とのコミュニケーションの活性化、安全・衛生の確保、教育の充実等が実現できる。

## 第七項 終章の要約

最終章では、戦後高度経済成長期からバブル崩壊に至り、さらに四半世紀成長できない日本経済の要因を分析し、その上で、ゼロ炭素社会における発電の意味と農村の持つ再生可能エネルギーのポテンシャルの明確化、農村を経済的に豊かにし、農業・農村の持つ多面的機能を維持・発展させ、21 世紀の「約束

された市場」に投資することが、長期に渡って低迷している日本経済を再興させる良好な政策であることを明らかにし、政策的課題提言を目的としている。

日本の戦後の高度経済成長は、官主導で行われた。大蔵省と通産省の両輪が、日本経済を高度経済成長へとドライブしていった。日本政府は規制当局によって、銀行と保険を支配・管理し、通産省は自動車・家電産業への傾斜投資により経済を成長させた。しかし、GDPを上回る融資の処理の遅れにより、バブル崩壊の処理コストが嵩み、日本経済は悪循環に陥るに至った。

日本は人口減少傾向にあり、農山漁村では急速に過疎化と高齢化が進展している。農業・農村の持つ多面的機能は、日本の風土と文化を生み出し支えてきた社会の下部構造であり、日本文化を醸成するための孵卵器である。この機能の維持・発展のためには、農村における健全な経済成長、労働機会・環境の充実等の方策が不可欠である。一方、我が国の農山漁村は、再生可能エネルギーの宝庫であり、未利用・未活用の資源を活かすことで農山漁村は新たなライフスタイルを獲得できる可能性がある。

農業人口が減少し、農業従事者の急速な高齢化が進展する中で、持続可能な営農をサポートしうるソーラーシェアリング発電の位置づけは重要である。ソーラーシェアリング発電は、食料自給率が38%まで落ち込んでいる我が国農業において、農業経営を安定化させる特徴を有する。各農業経営体が仮に100kWのソーラーシェアリング発電をおこなったと仮定すると、発電容量は1億2,580万kWとなり、総排出量12億トンCO<sub>2</sub>(2016)の10.2%、発電部門CO<sub>2</sub>排出量の30%に相当する。さらに、水力、バイオマス、風力等の再エネ発電を併せた場合、4億8,400トンのCO<sub>2</sub>を削減し、発電部門のCO<sub>2</sub>排出量をカバーする。ソーラーシェアリング発電は農業経営に新たな付加価値を補填し、経営の安定化を促す可能性がある。また同時に、CO<sub>2</sub>の排出量を削減し、気候変動緩和に寄与する。そのためには、次のような制度的、技術的に克服すべき幾つかの課題がある。

現在のエネルギー源の大半が化石燃料であるため、地域のエネルギー代金の支払いの多くが輸入代金として海外に流出しており、その金額は28兆円に上っている(財務省, 2014)。全消費エネルギーのうち発電で消費されるエネルギーは、前述の推計から33.7%である。仮に発電に供している化石燃料をすべて再生可能エネルギーに置き換えた場合、9兆4494億円もの資金が国内に留まるとともに、年間約10兆円の経済効果を生み出す。

農業の総産出額が9兆2025億円(2016年)であることを考えれば、農村の経済規模が再エネ利用により約2倍に拡大することを意味している。もちろん、一朝一夕での実現は不可能であるが、パリ協定の遵守、IEAの持続可能な開発シナリオ(SDS)への寄与、日本企業に内部留保として眠る257兆円の活用、世界中で組成されている気候変動金融イニシアティブの活用、世界規模での再エネ投資の拡大等、政府が2100年を見据えた綿密な政策を進めるのであれば、世界規模の大規模エネルギーシフトは、我が国にとって最良の成長のチャンスに生まれ変わるのである。

農山漁村において再エネ発電事業を梃子に新たな村落共同体のライフスタ

イルを模索することは、農村と森林の持つ多面的機能を維持・発展させ、日本の安定的な発展を支えるだけでなく、地球環境の保全、SDGsの実現に繋がる重要な政策となりうる。この意義を我が国のエネルギー政策と農業政策において明確に位置づけ、このシステムの技術的、経営的、制度的課題を克服するための体系的な政策支援が必要である。

## 目次

### 再生可能エネルギー利用による農村の活性化

—ソーラーシェアリング発電を事例として—

### RURAL ACTIVATION THROUGH THE USE OF RENEWABLE ENERGY:

A CASE STUDY OF SOLAR SHARING POWER GENERATION

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 序章 .....                      | I   |
| 第一節 我が国における農村人口の減少と高齢化 .....  | I   |
| 第二節 食料・農業・農村基本法 .....         | II  |
| 第三節 食料・農業・農村基本計画 .....        | III |
| 第四節 農業・農村の多面的機能の維持する必要性 ..... | VI  |
| 第五節 本研究について .....             | VII |
| 第一項 デフレ脱却のための仮説 .....         | vii |
| 第二項 第一章の目的と要約 .....           | ix  |
| 第三項 第二章の目的と要約 .....           | xi  |
| 第四項 第三章の要約 .....              | xii |
| 第五項 第四章の要約 .....              | xiv |
| 第六項 第五章の要約 .....              | xv  |
| 第七項 終章の要約 .....               | xvi |

|   |           |
|---|-----------|
| 図表一覧 .....                                  | VI        |
| <b>第一章 気候変動と経済活動 .....</b>                  | <b>1</b>  |
| 第一節 気候変動に関する政府間パネル .....                    | 1         |
| 第二節 第5次評価報告書 .....                          | 1         |
| 第一項 第5次評価報告書の予測モデル .....                    | 1         |
| 第二項 我が国における観測結果 .....                       | 4         |
| 第三項 気候変動による不可逆的な影響 .....                    | 6         |
| 第三節 カーボンバジェット .....                         | 6         |
| 第四節 パリ協定 .....                              | 8         |
| 第五節 気候変動が経済に与える影響 .....                     | 11        |
| <b>第二章 日本の社会と農村，その現在と未来 .....</b>           | <b>15</b> |
| 第一節 人口減少と過疎化 .....                          | 15        |
| 第二節 高齢化の進展 .....                            | 16        |
| 第三節 日本経済の失われた四半世紀 .....                     | 17        |
| 第四節 弱体化する地方経済の課題と方策 .....                   | 20        |
| 第五節 世界の中での日本の立ち位置 .....                     | 24        |
| <b>第三章 我が国のエネルギー政策と再生可能エネルギー活用の展開 .....</b> | <b>27</b> |
| 第一節 エネルギー政策の概観 .....                        | 27        |
| 第二節 再生可能エネルギー開発とソーラーシェアリング発電実用までの経緯         |           |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| .....                                 | 28        |
| 第一項 オイルショックと省エネルギー技術の開発期（1972～1990年間） | 29        |
| 第二項 再生可能エネルギー利用への政策的支援期（1991～2010年間）  | 29        |
| 第三項 東日本大震災の発生による本格的事業展開期（2011年以降）     | 30        |
| 第四項 ソーラーシェアリングの発明                     | 30        |
| 第五項 再生可能エネルギー固定価格買取制度のスタート            | 30        |
| 第六項 農地のみなし転用の許可                       | 31        |
| 第七項 農山漁村再生可能エネルギー法の成立                 | 31        |
| 第三節 我が国の再生可能エネルギーの現状                  | 33        |
| 第一項 再生可能エネルギーの緩やかな拡大                  | 33        |
| 第二項 太陽光発電                             | 33        |
| 第三項 風力発電                              | 34        |
| 第四項 バイオマス発電                           | 35        |
| 第五項 中小水力発電                            | 36        |
| 第六項 地熱発電                              | 38        |
| 第四節 我が国の再生可能エネルギー主電源化への見通し            | 38        |
| <b>第四章 ソーラーシェアリング発電の経営分析</b>          | <b>41</b> |
| 第一節 ソーラーシェアリング発電とは                    | 41        |
| 第二節 現地調査                              | 43        |
| 第三節 ソーラーシェアリング発電の経営分析                 | 49        |

|            |                                   |           |
|------------|-----------------------------------|-----------|
| 第一項        | ソーラーシェアリング発電の経営モデル .....          | 49        |
| 第二項        | 買取価格引き下げとシステム費用低減が純利益に及ぼす影響 ..... | 50        |
| 第三項        | 買取価格の低下とソーラーシェアリング発電の優位性 .....    | 54        |
| 第四項        | 農林水産省による新たな施策 .....               | 55        |
| 第五項        | 脱炭素社会に対する貢献 .....                 | 57        |
| 第六項        | 海外におけるソーラーシェアリングの普及 .....         | 58        |
| 第四節        | ソーラーシェアリング発電の普及を妨げる要因 .....       | 65        |
| 第一項        | 個々の農家とソーラーシェアリング発電におけるリスク .....   | 66        |
| 第二項        | 営農を継続する上での農作物への影響に対する懸念 .....     | 66        |
| 第三項        | 政策的プロモーションの欠如 .....               | 68        |
| <b>第五章</b> | <b>パリ協定以降の農村開発 .....</b>          | <b>69</b> |
| 第一節        | デカップリング .....                     | 69        |
| 第一項        | 経済成長と GHG 排出量のデカップリング .....       | 69        |
| 第二項        | グローバルエコノミーにおけるデカップリング .....       | 69        |
| 第三項        | 各経済圏におけるデカップリング .....             | 72        |
| 第四項        | 炭素生産性 .....                       | 76        |
| 第二節        | 量から質への転換 .....                    | 80        |
| 第三節        | CO <sub>2</sub> 排出量の削減 .....      | 80        |
| 第四節        | 約束された市場 .....                     | 83        |
| 第五節        | 農村の潜在力の活用 .....                   | 84        |



|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| 第一項         | 農村の持つ再生可能エネルギーの潜在力 .....                | 85        |
| 第二項         | 農村における地域エネルギー利用の意味 .....                | 86        |
| 第三項         | 自然資本と生態系サービスのノードとしての農村 .....            | 87        |
| 第六節         | 気候変動と防災そして安全保障 .....                    | 88        |
| 第七節         | SDGs への寄与 .....                         | 89        |
| <b>終章</b>   | <b>ゼロ炭素社会における持続可能な成長を目指して（結論） .....</b> | <b>91</b> |
| 第一節         | 日本はどこで道に迷ったのか？ .....                    | 91        |
| 第二節         | 日本の現状を再認識する .....                       | 92        |
| 第三節         | 農業と発電を農村で行う意義 .....                     | 93        |
| 第四節         | ソーラーシェアリング発電の政策課題 .....                 | 94        |
| 第五節         | ゼロ炭素社会実現に向けての農村をコアとする政策提言 .....         | 96        |
| <b>謝辞</b>   | .....                                   | <b>98</b> |
| <b>参考文献</b> | .....                                   | <b>99</b> |

## 図表一覧

### 図一覧

- 図序-1 農業人口と高齢化の変遷
- 図序-2 食料・農業・農村基本法と旧農業基本法の比較
- 図序-3 食料自給率の推移（1965-2016）
  
- 図 1-1 累積総 CO<sub>2</sub> 排出量の関数としての地球平均表面温度の上昇モデル
- 図 1-2 日本の年平均気温の偏差の経年変化（1898～2017年），気象庁
- 図 1-3 いぶき（GOSAT）観測による大気中の CO<sub>2</sub> 濃度の推移
- 図 1-4 全世界における一次エネルギー供給量の割合の変化（1971-2015）
- 図 1-5 各国の二酸化炭素排出量の割合（2014）
- 図 1-6 進化するリスクのランドスケープ（2008-2018）
- 図 1-7 グローバル・リスク・ランドスケープ 2018
  
- 図 2-1 出生数及び合計特殊出生率の年次推移 1899-2016年
- 図 2-2 各国（米国，EU，中国，日本，インド）の名目 GDP（USドル）の推移（1980-2018）
- 図 2-3 各国（米国，EU，中国，日本，インド，ブラジル，世界平均）GDP に対して製造業の占める割合の推移（1970-2012）
- 図 2-4 市町村の公需等依存度と財政状況
- 図 2-5 市区町村の人口規模と人口変化率の関係
- 図 2-6 1人あたり GDP の各国比較と見通し
  
- 図 4-1 ソーラーシェアリング発電立面モデル図
- 図 4-2 A. Goetzberger, A.Satzrow による高架収集フィールドのイラスト及びグラフ（1981）
- 図 4-3 ソーラーシェアリング発電における支柱スパンと太陽光パネル設置位置
- 図 4-4 下部の農地における太陽の移動による日射の変化
- 図 4-5 農地におけるソーラーシェアリング発電の年間平均純利益推計結果の推移
- 図 4-6 ソーラーシェアリング発電における下部の農地の面積の分布
- 図 4-7 ソーラーシェアリング発電における遮光率の分布
- 図 4-8 Agrivoltaic 実験設備のレイアウト
- 図 4-9 モンペラ大学（仏）の Agrivoltaic 実験設備の様子
- 図 4-10 ドイツヘッゲルバッハの Agrophotovoltaic 実験設備の様子
- 図 4-11 Agrovoltaico2 軸追尾型システム
- 図 4-12 英国 Solar Farm の様子
- 図 4-13 モンゴル国ダルハン 10MW ソーラーシェアリング発電所

- 図 5-1 全球エネルギー関連 CO<sub>2</sub> 排出量の推移
- 図 5-2 世界の GDP の推移と見通し (1995-2060, US ドルベース)
- 図 5-3 世界の GDP 成長率の推移と世界, OECD, 米国, 日本の成長率の傾向 (1980-2023)
- 図 5-4 EU における実質 GDP, GHG 排出量, GHG 強度の推移, 1990-2016
- 図 5-5 新しい政策シナリオにおける世界の GDP 成長と発電における化石燃料消費のデカップリング
- 図 5-6 生産ベース CO<sub>2</sub> 排出量の変化率と GDP の変化率 (1995-2014)
- 図 5-7 CO<sub>2</sub> 部門別排出量の推移 (1990-2016)

表一覽

- 表序-1 農業経営体数の推移
- 表序-2 食料自給率の推移 (1960-2016)
  
- 表 3-1 我が国の再生可能エネルギー政策の経緯と背景
  
- 表 4-1 各種植物の光飽和点・光補償点と太陽の照度
- 表 4-2 T 発電所の施設概要
- 表 4-3 T 発電所の設計値 (発電予測値) と実績値
- 表 4-4 ソーラーシェアリング発電の収支推計結果
- 表 4-5 ソーラーシェアリング発電 (稼働中) の聞き取り調査の集計結果
  
- 表 5-1 全米における実質 GDP, CO<sub>2</sub> 排出量, 炭素投入量の変化 (2000-2014)
- 表 5-2 生産ベース CO<sub>2</sub> 排出量の変化率と GDP の変化率



## 第一章 気候変動と経済活動

本章においては、国際連合の活動を中心に世界の中で気候変動問題がどのように扱われてきたのかについて問題点の整理・分析をしている。気候変動問題がすでに人類共通の課題であること、カーボンバジェットが残り1兆トンを超えており、21世紀半ばまでには解決しなければならないこと、これを解決しなければ気候変動が人類にとって不可逆的で重大な影響を与えること、すでに気候変動が人類の経済活動に大きな影響と被害を与えていること、気候変動を解決するためには、地球規模で脱炭素社会構築を実現する必要があること等を明らかにすることを目的としている。

### 第一節 気候変動に関する政府間パネル

1988年に、国連総会は、気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)を設置することを決議した。国連総会は、国際連合環境計画(United Nations Environment Programme: UNEP)と世界気象機関(World Meteorological Organization: WMO)によるIPCC設置を承認するとともに、IPCCに対して、気候と気候変動の科学的知識、地球温暖化を含む気候変動の社会的経済的影響に関するプログラムと研究、有害な気候変動の影響を遅らせ制限または緩和させるために可能な応答戦略、気候に関わる現行の国際法律文書の特定とその強化の可能性、将来合意される可能性のある気候に関する国際条約に含むべき要素等に関する包括的なレビューと勧告を速やかに行うよう要請した。

IPCCの役割は、人為的な気候変動の危険、その潜在的影響及び適応と緩和の選択肢の科学的根拠の理解に関する科学的、技術的、社会経済的情報を、包括的・客観的に、かつ公平・透明なやり方で、評価することとされ、その報告書は、科学的完全性、客観性、公平性、透明性が確保されている必要があり、政策に関しては中立との立場を取っている。今日、IPCCのもたらす人類への多大なる貢献は、著者や批評家としてIPCCの報告書の作成に長年貢献してきた全世界からの何千という専門家たちの熱意と自発的協力であるとされており、2007年にはアル・ゴア米国元副大統領とともに、ノーベル平和賞を受賞している。

### 第二節 第5次評価報告書

#### 第一項 第5次評価報告書の予測モデル

IPCC(2013)<sup>21</sup>は、The Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change(気候変動に関する政府間パネル第5次評価報告書: AR5)において、気候システムの温暖化は明白であり、1950年代から、観測さ

れた変化の多くは数十年から数千年にわたり、前例のないものであった。大気と海洋は温暖化し、雪と氷の量は減少し、海面は上昇し、GHGの濃度は増加している、と報告している。

気候変動の検出と特性については、人間の影響は、大気及び海洋の温暖化、地球規模の水循環の変化、雪と氷の減少、地球平均海面上昇等、いくつかの極端な気候事象として検出されている。AR5では、20世紀半ば以降、人間の影響が観測された温暖化の支配的要因である可能性が（95%以上の確率で）極めて高いとなっており、前回の第四次評価報告書（AR4）の可能性が非常に高い（90%以上）という表現から、さらに踏み込んだものとなっている。

AR5では将来の世界及び地域における気候変動についても、GHGの継続的な排出は、気候システムのすべての要素のさらなる温暖化と変化を引き起こすとしている。そこで、気候変動を緩和するためには、温室効果ガスの排出を大幅に削減する必要があるとしている。AR5は、気候変動の予測を行なうためのシナリオを第4次評価報告書（AR4）から変更している。地球温暖化を引き起こす放射強制力（Radiative Forcing: RF）の強さにより、4つの代表濃度経路（Representative Concentration Pathways: RCP）シナリオを採用した。図1-1は、IPCCによる様々な証拠からの累積総CO<sub>2</sub>排出量の関数としての地球平均表面温度の上昇モデルを示している。

RCP2.6（低位安定化シナリオ）は、世紀末の放射強制力が2.6W/m<sup>2</sup>で、将来の気温上昇を2℃以下に抑えるという温室効果ガス排出量の最も少ないシナリオである。

RCP4.5（中位安定化シナリオ）、RCP6.0（高位安定化シナリオ）、RCP8.5（高位参照シナリオ）と数字が大きくなるほど、放射強制力が大きくなる。大気温については、21世紀末の地球表面温度の変化は、RCP2.6を除くすべてのRCPシナリオで1850年から1900年の間に1.5℃を超える可能性が高い。RCP6.0とRCP8.5では2℃を超え、RCP4.5ではどちらかと言えば2℃を超える可能性が高い。温暖化は、RCP2.6を除くすべてのRCPシナリオで2100年を超えて継続する。温暖化は、経年から10年の変動性を示し続け、地域的には一様ではないとしている。

人類はすでに1.9兆トン（最小値で1.6兆トン、最大値で2.1兆トン）のCO<sub>2</sub>を排出してきた。この量の示す意味は、図1-1から分かるとおり、1860年よりすでに1.0℃～1.4℃大気温度が上昇しているという事実である。将来の気温上昇を2℃以下に抑えるというRCP2.6＝低位安定化シナリオを選択するとしても、事態は極めて重大であり、タイムリミットは目前に差し迫っている。

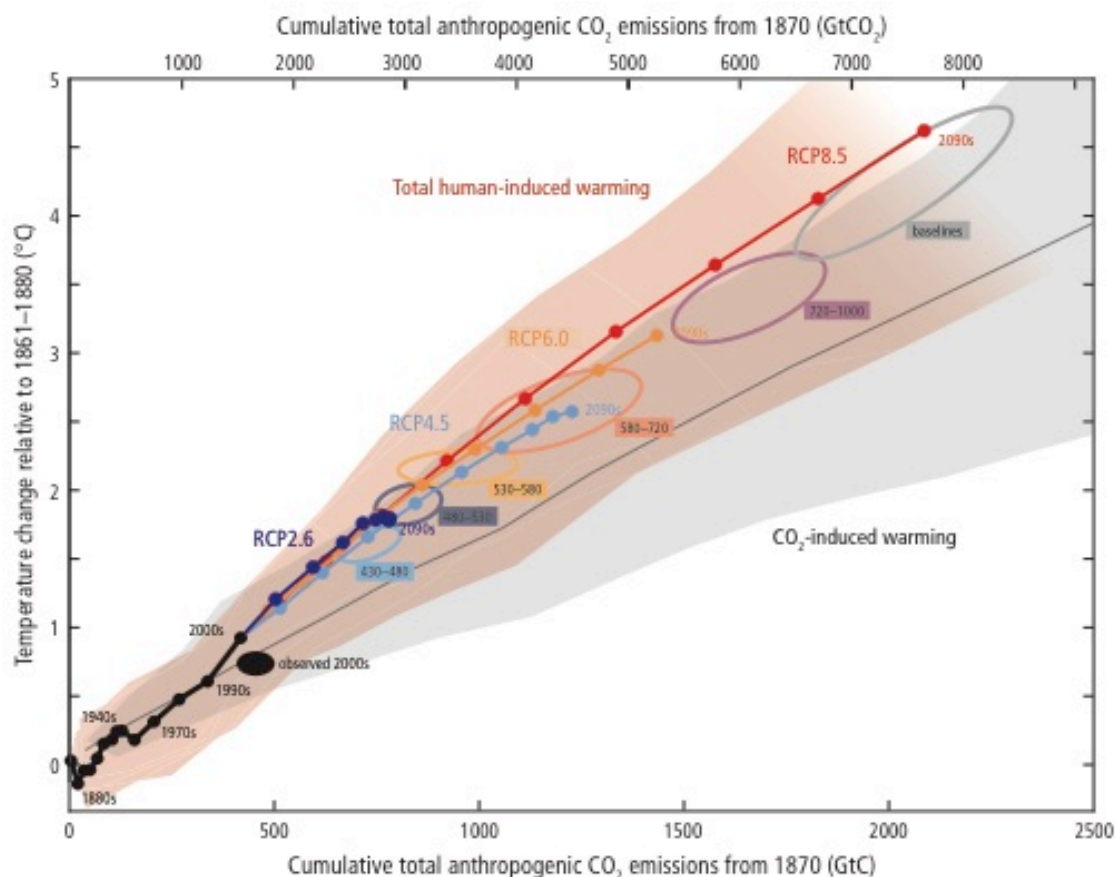


図 1-1 累積総 CO<sub>2</sub> 排出量の関数としての地球平均表面温度の上昇モデル  
 Source: IPCC, 2014, “Climate Change 2014 Synthesis Report”, “Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2013”, pp.63

摘要

- (色付きの線)： 2100年までの各代表濃度経路(RCP)の気候・炭素循環モデルの階層からの複数モデルの結果が示されている。
- (黒色の線)： 過去の期間(1860年から2010年)のモデル結果は黒で示されている。
- (色付きの雲)： カラーブルームは、4つのRCPシナリオでのマルチモデルスプレッドを示し、RCP8.5では使用可能なモデルの数が減少するにつれて色は薄くなっている。ドットは10年平均を示し、選択された10年はラベル付けされている。
- (各楕円)： 楕円は、WGIIIの気候変動の緩和で使用されているシナリオカテゴリの単純な気候モデル(気候の中央値の応答)から、1870年から2100年までの累積CO<sub>2</sub>排出量に対して、2100年における人為的温暖化の総量を示している。
- (縦軸の温度値)： 温度値は常に1861年から1880年の期間平均気温を基準としており、排出量は1870年以降の累積値を示している。
- (黒い楕円)： 黒い楕円は、2005年の観測された排出量と2000年から2009年の観測された温度を示し、関連する不確定性を示す。

## 第二項 我が国における観測結果

このような気温の上昇は、我が国においても同様に観測されている。気象庁(2018)<sup>22</sup>は、2017年の1981~2010年の日本の年平均気温基準における偏差は+0.26°Cであったものの、20世紀全体の平均基準における偏差は+0.86°Cであったとしている。5年間の移動平均を見れば、気温が上昇傾向であることは明白である(図1-2)。気象庁(2018)は、日本の年平均気温が一世紀で約1.19°Cの割合で上昇しており、特に1990年代以降、高温となる年が頻出しているとしている。

また、環境省、国立環境研究所及び宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき(GOSAT)」を用いて、二酸化炭素やメタンの観測を行っている。観測は、2009年に開始されたが地球大気全体(全大気)の二酸化炭素の月別平均濃度は季節変動をしながら年々増加しており、2018年2月に405.3 ppmを記録している。図1-3のグラフからも「いぶき」で観測した二酸化炭素の濃度に季節変動は見られるものの、移動平均は右肩上がり傾向であることが分かる。

この2つのデータは、IPCCのAR5の報告を裏打ちするものであると言える。また、「平均気温の偏差の推移」、「CO<sub>2</sub>濃度の移動平均値の推移」のどちらのグラフも上昇傾向が顕著であり、日本における平均気温の上昇と大気中のCO<sub>2</sub>濃度の間には正の相関関係が見て取れる。このことは、気候変動を緩和させるためには、CO<sub>2</sub>ドラスティックな政策変更が必須であることを示唆している。



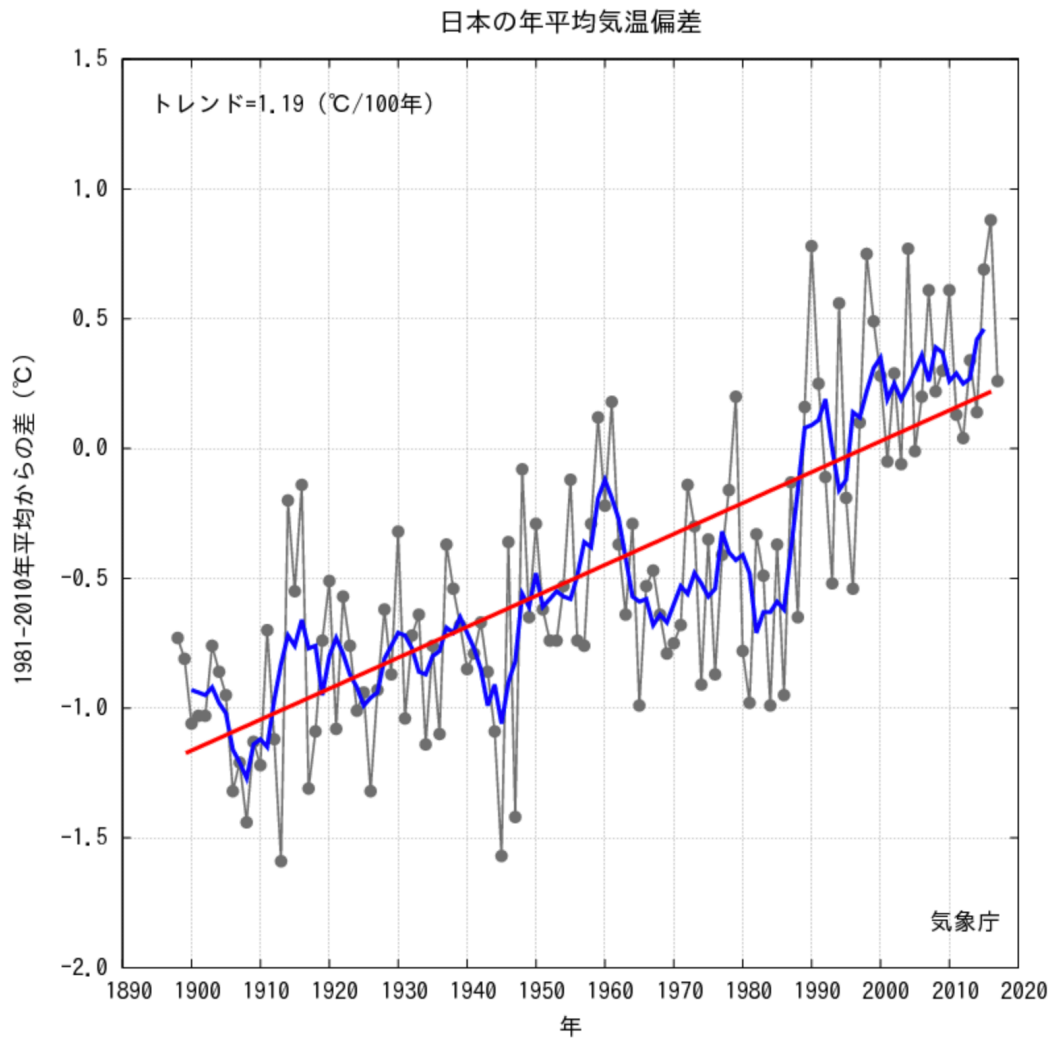


図 1-2 日本の年平均気温の偏差の経年変化（1898～2017年），気象庁

摘要

細線（黒）：各年の平均気温の基準値からの偏差

太線（青）：偏差の5年移動平均

直線（赤）：長期的な変化傾向

基準値は1981～2010年の30年平均値。

[http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/list/csv/an\\_jpn.csv](http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/list/csv/an_jpn.csv)

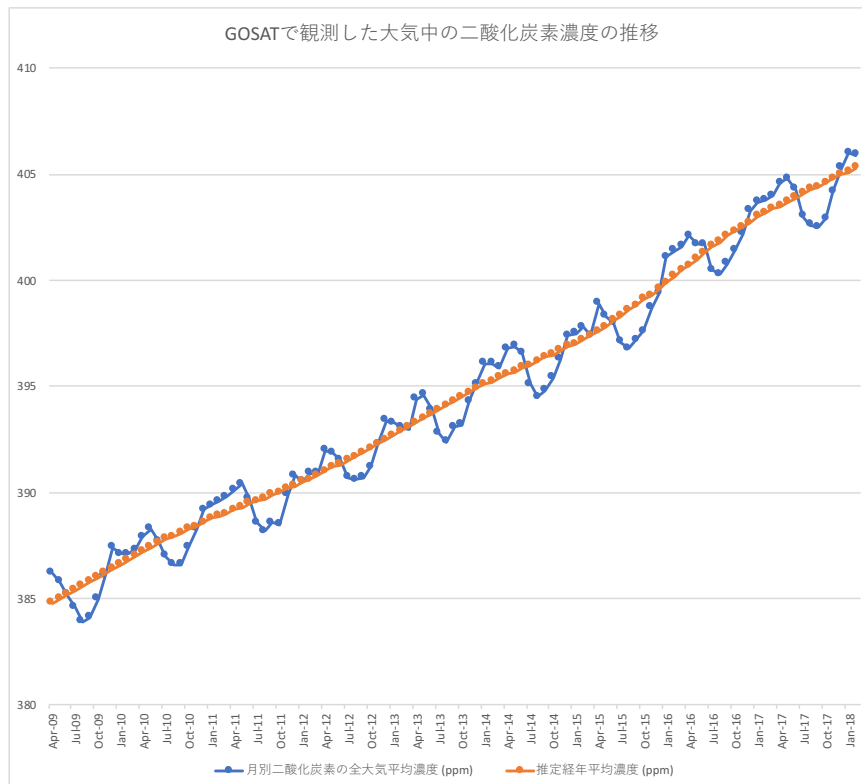


図 1-3 いぶき (GOSAT) 観測による大気中の CO<sub>2</sub> 濃度の推移  
 国立環境研究所, JAXA のデータより筆者作成

### 第三項 気候変動による不可逆的な影響

IPCC 第 5 次評価報告書 (2013)<sup>23</sup>は, 大気, 海洋, 雪氷圏, 海面水位, 炭素及び生物の化学循環, 要因分析, 気候変動予測等多岐にわたるが, 気候変動による将来のリスクと影響として, 気候変動は既存のリスクを増幅し, 自然と人間のシステムに新たなリスクをもたらすとしている。また, リスクは不均等に分布しており, 一般に, 開発のあらゆるレベルの国の恵まれない人々や地域社会にとってはより大きく, 温暖化の程度が増大すると, 人, 種, 生態系に深刻かつ広範囲にわたる不可逆的な影響が生じる可能性が高くなる。継続的な排出量の増加は, 生物多様性, 生態系サービス及び経済発展にほとんど負の影響をもたらし, 生計及び食料及び人間の安全保障のリスクを増大させるとしている。

この重要な報告の内容が, 専門家や環境省を始めとする一部の人たちには知られているものの, 国民全体に周知徹底されているとはいえない状況にあることは, 非常に残念であると同時に速やかな状況の改善が望まれる。

### 第三節 カーボンバジェット

AR5 (2013)<sup>24</sup>は, CO<sub>2</sub> の累積排出は, 21 世紀後半以降の地球温暖化の大部分を決定するとしている。気候変動のほとんどの側面は, CO<sub>2</sub> の排出が停止し

ても何世紀も持続すると考えられる。このことは、過去、現在、そして将来のCO<sub>2</sub>排出量によって作られた多世紀の気候変動へのコミットメントを表している。

前出の図 1-1 及び図 1-2 と図 1-3 から分かるように、CO<sub>2</sub>の累積総排出量、大気中のCO<sub>2</sub>濃度と全球平均表面温度の応答には、ほぼ直線的に正の相関が確認される。どんな所与のレベルの温暖化も、累積CO<sub>2</sub>排出量の範囲に関係している。したがって、例えば過去数十年間の排出量の増加は、将来にわたり、排出量の削減が余儀なくされることを意味する。

AR5<sup>25</sup>は、人為的CO<sub>2</sub>排出によって起こる温暖化を、21世紀末に2°C未満に制限するために、1861年から1880年にかけてのCO<sub>2</sub>排出量をもとに人為起源による累積CO<sub>2</sub>排出量を算出している。確度により、33%以上の確率の場合は、約1,570GtC(5,760Gt CO<sub>2</sub>)、50%以上の確率の場合は、0及び約1,210GtC(4,440Gt CO<sub>2</sub>)、66%以上の確率の場合は、0及び約1,000GtC(3,670Gt CO<sub>2</sub>)となっている。これらの上限量は、RCP2.6のような非CO<sub>2</sub>強制を考慮した場合、それぞれ約900GtC(3,300Gt CO<sub>2</sub>)、820GtC(3,010Gt CO<sub>2</sub>)、及び790GtC(2,900Gt CO<sub>2</sub>)に減少する。しかし、すでに515 [445~585] GtC(1,890 [1,630~2,150] Gt CO<sub>2</sub>)の量が、2011年までに排出されている、としている。

つまり、66%以上の確率で考えたとき、21世紀末の気温上昇を2°C未満に抑えるためには、1870年以降のすべての人為起源の発生源からのCO<sub>2</sub>累積排出量を約2,900Gt CO<sub>2</sub>(2.9兆トン)未満に留める必要がある。2011年までに約1,890Gt CO<sub>2</sub>(約1.9兆トン)のCO<sub>2</sub>が排出されていることから、累積排出量を約2,900Gt CO<sub>2</sub>未満に留めるためには、2012年以降の全世界での累積排出量を約1,000Gt CO<sub>2</sub>、すなわち約1兆トンに抑える必要があるということになる。

これがカーボンバジェットのコネプトである。

気候変動による影響は、地球全体に不可逆的で甚大な影響を及ぼす。1993年に制定された環境基本法<sup>26</sup>には、現在及び将来の世代の人間が健全で恵み豊かな環境の恵沢を享受するとともに人類の存続の基盤である環境が将来にわたって維持されるように(第3条)することを環境保全の意義とし、加害者と被害者の境界が曖昧となる今日の環境問題を踏まえ、社会のあり方そのものを環境負荷の少ない、持続的発展が可能なものにしていく必要性(第4条)があること、地球環境保全について国際的強調による積極的推進を図る(第5条)ことを目指している。また、これらの下位法として地球温暖化対策推進法、循環型社会形成推進基本法、生物多様性基本法等が存在し、国として持続可能な社会の形成を目指している。

我が国はカーボンバジェットに対して、どのような貢献をできるのだろうか？国内の動向を見る限りでは、京都議定書以降、経済の低迷とともに省エネルギーに対する動きは徐々に弱まっている。最終エネルギー消費の推移は、1990年までは産業用が50%を超えていたが、それ以降は民生・運輸部門の合計値が上回るようになった。2015年の最終エネルギー消費量<sup>27</sup>は、1990年のレベルに等しく、産業用エネルギー消費の割合は、1990年と比べ2015年

では7ポイント下がっており、産業界における省エネルギーが着実に進展したことを示している。しかし、民生部門については、16ポイント以上も高くなっており、生活水準の向上により消費者レベルでのエネルギー消費量は長期微増傾向にあり、日本全体として脱炭素社会への理解が不十分であることが推察される。また、これまではエネルギー消費量とエネルギー消費原単位に関心が集まっていたが、幾度となく議論されているように省エネルギーそのものには限界があるため、従来の視点のパラダイム転換を図り、脱炭素によるカーボンバジェットへの貢献に大きく舵を取るべきタイミングに来ている。

#### 第四節 パリ協定

1997年に京都で開催されたCOP3にて、京都議定書(Kyoto Protocol)<sup>28</sup>が採択され、2020年までのGHG排出削減の目標が定められた。しかし、国連気候変動枠組条約では、世界の国々を、主として先進国と開発途上国の二つに分け、条約上の義務等に差異を設けているため、京都議定書では日本を含む先進国にのみに削減目標に基づく削減義務が課せられた。しかし、主要排出国である米国が条約を批准しておらず、中国、インド等のGHGを排出する新興国が削減義務を負っていないため、京都議定書の枠組みは機能することが難しくなった。また、気候変動による影響に脆弱な地域等から、「気温上昇の緩和」だけでなく、「気候変動への適応」についても焦点を当てるべきとの声も上がるようになった。

International Energy Agency(世界エネルギー機関:IEA)(2017)<sup>29</sup>は、エネルギー需要は、1971年から2015年の間で地域によって異なって変化しており、全世界における一次エネルギー供給量(Total Primary Energy Supply: TPES)に対するOECDのシェアは、1971年の61%から2015年には39%に低下しているとしている(図1-4)。また、世界のエネルギー需要は7倍に増加し、非OECDアジアのTPESシェアがこの期間にほぼ3倍に増加しことでOECDとほぼ同水準のシェアとなり、アフリカではこの期間のエネルギー需要が4倍になったとしている。また、『環境・循環型社会・生物多様性白書』(2017)<sup>30</sup>からは、米国、中国、インドで全地球の50%以上の温暖化ガスが排出されていることが理解できる(図1-5)。

こういった状況の中、2015年に合意されたパリ協定(2015)<sup>31</sup>は、地球規模の平均気温の上昇を工業化以前の水準よりも2℃をはるかに下回る水準に保つことのできるGHG排出量にすること、工業化前のレベルよりも1.5℃高い温度に制限する努力を追求し、世界全体のGHG排出量を実質ゼロにすること等を目標に掲げている。同協定は、197の国・地域により合意され、2016年11月4日、欧州連合の批准により成立要件を満たし、発効された。これらの目標達成のためには、締約国がIPCCの報告やIEAの提言に注意深く耳を傾け、地球規模での脱炭素社会を構築していくことが重要である。

日本は、パリ協定を踏まえ、国内の排出削減と吸収量の確保により、2030年度に、2013年度比26%削減の水準にするとの中期目標の達成に向けて着実に取り組むとしている。また、長期的目標として2050年に80%のGHGの排出削減を目指すとしている<sup>32</sup>。

IPCCの第5次評価報告書<sup>9</sup>はもちろんのこと、前述の気象庁、環境省等のデータからも人為起源のGHGの排出と地球温暖化には密接な関係が見られる。このGHG削減に当たっては、環境基本法第4条<sup>10</sup>にも見られるように「環境保全上の支障が未然に防がれること」がとても重要である。この点については、東日本大震災に起因する福島第一原発事故により、我が国は、根拠のない絶対的な安全神話がいかに危険であり、求められているのは安易な政治的な「想定外」ではなく、科学的根拠に裏付けられた「想定範囲内」がいかに重要であるかことを経験している。これらの経験を活かすのであれば、気候変動による深刻な影響を回避し、不可逆的な地球環境への影響を招かないためにも、全人類が智慧を出し合い、残り1兆トンのカーボンバジェットを地球全体で極力減らさずに、早急に脱炭素社会へとシフトしていくことが喫緊の課題である。

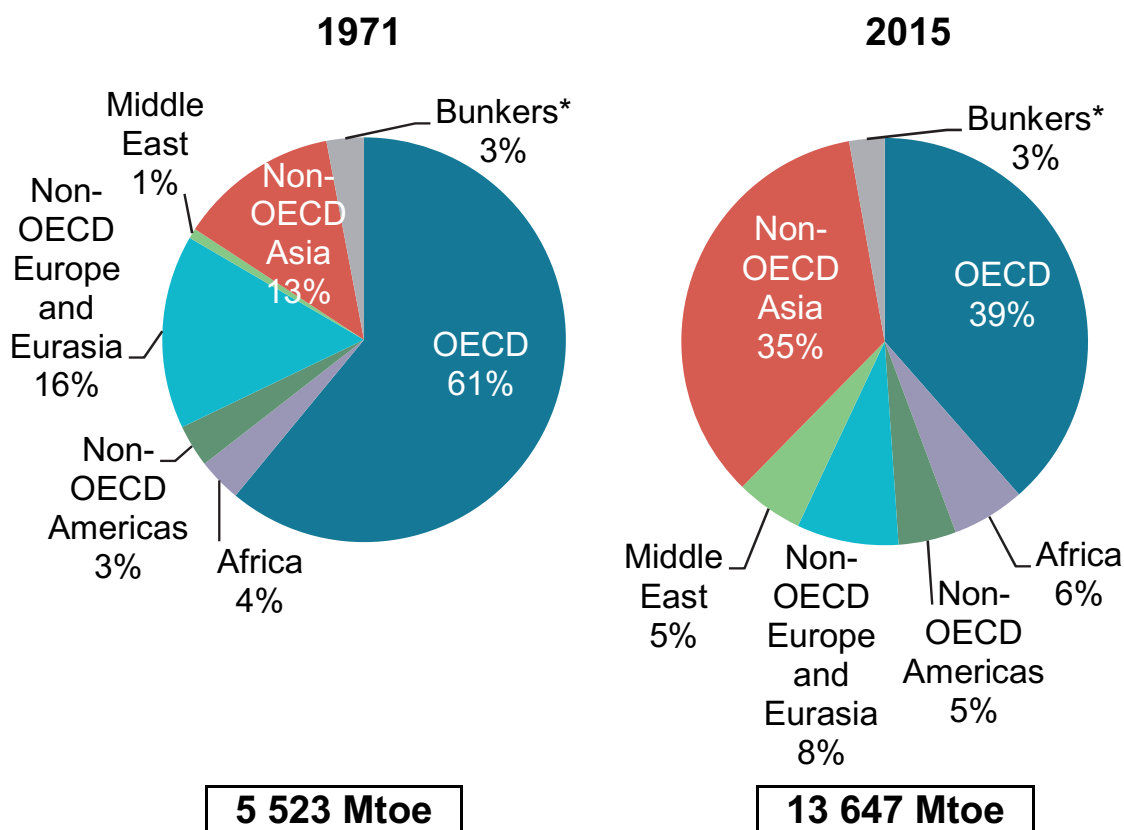


図 1-4 全世界における一次エネルギー供給量の割合の変化（1971-2015）  
Source: IEA, 2017, "World Energy Balances 2017", pp.5

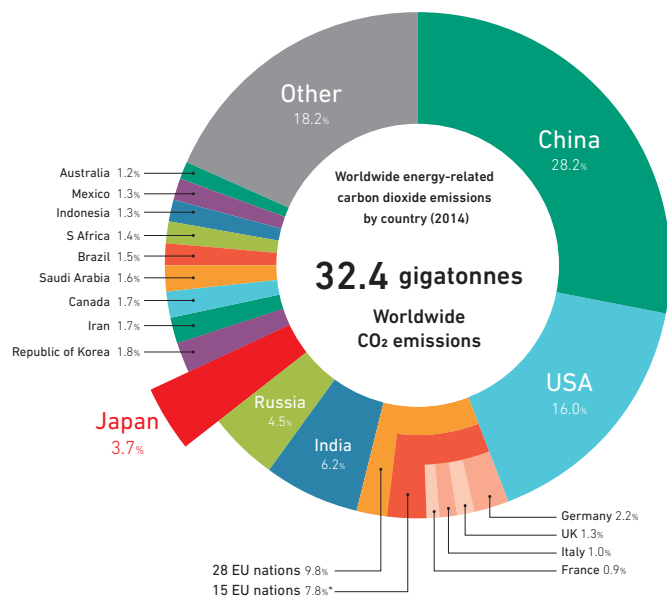


図 1-5 各国の二酸化炭素排出量の割合（2014）

Source: IEA “CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion - 2016 Edition”, 「平成 29 年版 環境・循環型社会・生物多様性白書」, pp.35

一方、有馬（2015）<sup>33</sup>は、パリ協定における「2050年までの地球全体のカーボンバジェット 1 兆トン」の合意形成過程は不十分であり、温暖化至上主義に立脚するためパリ協定とそこから提示された政府の姿勢に強い疑問を呈する立場を取っている。1.5°C~2°C 目標を達成するためには急速な排出規制が必要となり、その結果、石炭火力を含む大量の化石燃料火力発電所が非連続的に退出を強いられるという仮説が座礁産業論を生むとしている。また、日本は震災後、化石燃料輸入依存度の拡大、貿易赤字の拡大、電力料金の上昇、GHGの上昇という 4 重苦をこうむっているが、このような事例は他には存在しない。基準年も置かれた状況も異なる他国と数字上の横並びで（2050年に）80%（の削減目標）を設定することは京都議定書時代の発想でしかないとする。

確かに日本における気候変動に対する理解は低く、国民全体でのコンセンサスが得られているとはいえない状況であるかもしれない。しかし、従来のパラダイムに固執し、変化を嫌うのであれば、この四半世紀にわたる景気低迷の行動原理と何ら変わるところがない。すなわち、現在の産業構造や既得権益保護にこだわり過ぎると、不可逆的で深刻な影響が待ち構えているのは、紛れもない事実である。また有馬は、IPCCの長期に渡る、膨大なデータに裏付けられた調査研究の結果について無知であるか、あるいは無視をしている。気候変動問題に対応するには、感情論や一国の利益のみを主張することには全く意味がない。科学的根拠とデータに裏付けられた対策をひとつひとつ打っていくのが、締約国としてのあるべき姿である。

## 第五節 気候変動が経済に与える影響

近年起きている、ゲリラ豪雨、線状降水帯による大雨と洪水、竜巻による家屋被害、豪雪による孤立化、高温化による作物被害、異常少雨による不作等は、地球規模で起きている気候変動の一端である。しかし、世界に目を向けるなら状況は更に深刻であることが理解できる。世界気象機関（International Meteorological Organization: UNWMO）（2018）は、2017年の気象概況について、年平均気温は工業化以前より1.1℃上昇し、パリ協定で合意された2℃の半分を超えたとしている。極端な気象事象（Extreme Weather Event）<sup>34</sup>の事例として、アメリカ大陸におけるハリケーンの被害総額が1,500億ドルを超え、香港・マカオにおける台風被害額が60億ドル、湖南省・江西省・貴州省・広西チワン族自治区の大雨の被害額が50億ドル、マダガスカルではサイクロンにより2億ドルの被害、オーストラリアでもサイクロンにより13億ドルの被害、フランス・ブルターニュでは風速54m/sの暴風、インド・バングラデッシュ・ネパールでは大雨により4千万人が被害を受け、1200人以上が亡くなり、東アフリカは干ばつとなり、ソマリアでは640万人が一時食料不安となり、サハラ砂漠では雪が降り、パキスタンの54℃をはじめとして、アラビア半島、イランなどで50℃を超えたほか、世界各地で熱波が観測されたこと等、枚挙に暇がないほど世界中で極端な気象事象による被害を報告している<sup>35</sup>。年々、気候変動に関連した極端な気象事象は激しさを増すとともに顕著となっており、気候変動が経済に対して大きなダメージを与えることは明白である。

Collins et al.（2018）は、グローバルリスクレポートのテーマの変遷について、2011年に「嵐と台風」として関心事の第1位に上がったテーマが、2014年以降、「極端な気象事象」として第2位の関心事となり、2017、2018年は第1位の関心事となり、リスクインパクトとしても第2位にランキングされている。さらに、2018年における全体のリスクの上位6割が気候変動に関するテーマとなっているとしている<sup>36</sup>。世界のリスクが、気候変動問題に集約されていることが理解できる。

Top 5 Global Risks in Terms of Likelihood

|     | 2008                             | 2009                                       | 2010                          | 2011                | 2012                            | 2013                               | 2014                             | 2015  | 2016  | 2017                                 | 2018  |
|-----|----------------------------------|--|-------------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|---|--------------------------------------|---|
| 1st | Asset price collapse             | Asset price collapse                       | Asset price collapse          | Storms and cyclones | Severe income disparity         | Severe income disparity            | Income disparity                 | Interstate conflict with regional consequences  | Large-scale involuntary migration                   | Extreme weather events               | Extreme weather events                              |
| 2nd | Middle East instability          | Slowing Chinese economy (<6%)              | Slowing Chinese economy (<6%) | Flooding            | Chronic fiscal imbalances       | Chronic fiscal imbalances          | Extreme weather events           | Extreme weather events                          | Extreme weather events                              | Large-scale involuntary migration    | Natural disasters                                   |
| 3rd | Failed and failing states        | Chronic disease                            | Chronic disease               | Corruption          | Rising greenhouse gas emissions | Rising greenhouse gas emissions    | Unemployment and underemployment | Failure of national governance                  | Failure of climate-change mitigation and adaptation | Major natural disasters              | Cyberattacks  |
| 4th | Oil and gas price spike          | Global governance gaps                     | Fiscal crises                 | Biodiversity loss   | Cyber attacks                   | Water supply crises                | Climate change                   | State collapse or crisis                        | Interstate conflict with regional consequences      | Large-scale terrorist attacks        | Data fraud or theft                                 |
| 5th | Chronic disease, developed world | Retrenchment from globalization (emerging) | Global governance gaps        | Climate change      | Water supply crises             | Mismanagement of population ageing | Cyber attacks                    | High structural unemployment or underemployment | Major natural catastrophes                          | Massive incident of data fraud/theft | Failure of climate-change mitigation and adaptation |

Top 5 Global Risks in Terms of Impact

|     | 2008  | 2009  | 2010  | 2011                            | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  |
|-----|---|---|---|---------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| 1st | Asset price collapse                        | Asset price collapse                        | Asset price collapse                        | Fiscal crises                   | Major systemic financial failure                    | Major systemic financial failure                    | Fiscal crises                                 | Water crises  | Failure of climate-change mitigation and adaptation | Weapons of mass destruction                         | Weapons of mass destruction                         |
| 2nd | Retrenchment from globalization (developed) | Retrenchment from globalization (developed) | Retrenchment from globalization (developed) | Climate change                  | Water supply crises                                 | Water supply crises                                 | Climate change                                | Rapid and massive spread of infectious diseases     | Weapons of mass destruction                         | Extreme weather events                              | Extreme weather events                              |
| 3rd | Slowing Chinese economy (<6%)               | Oil and gas price spike                     | Oil price spikes                            | Geopolitical conflict           | Food shortage crises                                | Chronic fiscal imbalances                           | Water crises                                  | Weapons of mass destruction                         | Water crises  | Water crises  | Natural disasters                                   |
| 4th | Oil and gas price spike                     | Chronic disease                             | Chronic disease                             | Asset price collapse            | Chronic fiscal imbalances                           | Diffusion of weapons of mass destruction            | Unemployment and underemployment              | Interstate conflict with regional consequences      | Large-scale involuntary migration                   | Major natural disasters                             | Failure of climate-change mitigation and adaptation |
| 5th | Pandemics                                   | Fiscal crises                               | Fiscal crises                               | Extreme energy price volatility | Extreme volatility in energy and agriculture prices | Failure of climate-change mitigation and adaptation | Critical information infrastructure breakdown | Failure of climate-change mitigation and adaptation | Severe energy price shock                           | Failure of climate-change mitigation and adaptation | Water crises  |

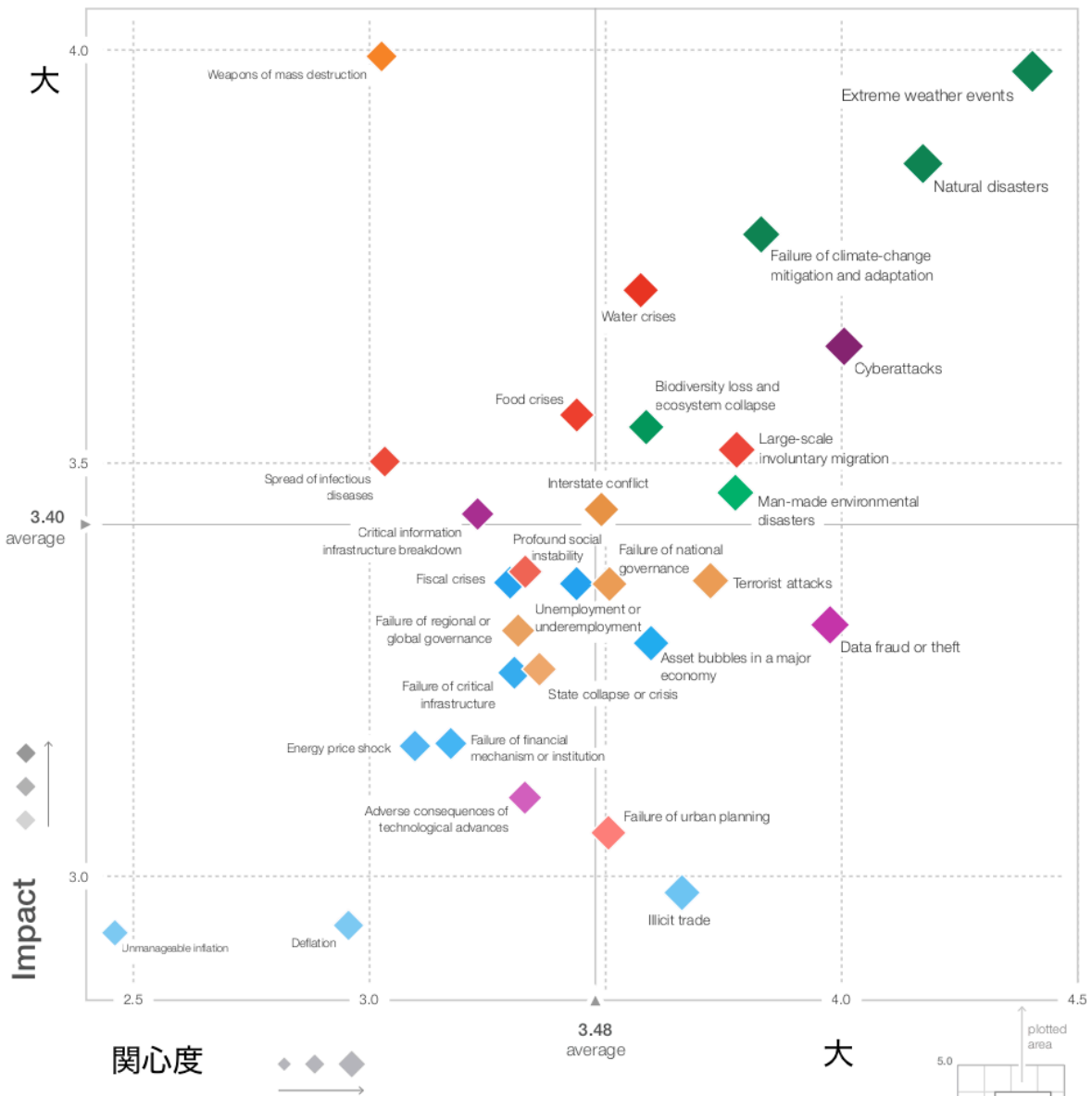
■ Economic ■ Environmental ■ Geopolitical ■ Societal ■ Technological

図 1-6 進化するリスクのランドスケープ（2008-2018）

Source: Global Risks Reports 2008–2018, World Economic Forum, 2018

（原注）グローバルリスクは、定義とグローバルリスクのセットが10年間の新たな問題が浮上するにつれて進展しているため、厳密に比較することはできない。例えば、「サイバー攻撃」、「所得格差」、「失業」などが2012年に世界的なリスクに入った。世界的なリスクのいくつかは再分類された。「水危機」と「所得格差の拡大」は、まず社会的リスクとして分類され、2015年と2016年のグローバルリスクレポートのトレンドとして、それぞれ再分類された。





Top 10 risks in terms of

**Likelihood**

- 1 Extreme weather events
- 2 Natural disasters
- 3 Cyberattacks
- 4 Data fraud or theft
- 5 Failure of climate-change mitigation and adaptation
- 6 Large-scale involuntary migration
- 7 Man-made environmental disasters
- 8 Terrorist attacks
- 9 Illicit trade
- 10 Asset bubbles in a major economy

Top 10 risks in terms of

**Impact**

- 1 Weapons of mass destruction
- 2 Extreme weather events
- 3 Natural disasters
- 4 Failure of climate-change mitigation and adaptation
- 5 Water crises
- 6 Cyberattacks
- 7 Food crises
- 8 Biodiversity loss and ecosystem collapse
- 9 Large-scale involuntary migration
- 10 Spread of infectious diseases

**Categories**

- ◆ Economic
- ◆ Environmental
- ◆ Geopolitical
- ◆ Societal
- ◆ Technological

### 図 1-7 グローバル・リスク・ランドスケープ 2018

Source: グローバルリスク知覚調査 2017-2018, 2018, 世界経済フォーラム

(原注) 調査回答者は、個々のグローバルリスクの可能性を 1 から 5, 1 は起こりそうにないリスク, 5 は非常に起こりやすいリスクを評価するよう求められた。また、各グローバルリスクへの影響を 1 から 5 (1: 最小インパクト, 2: マイナーインパクト, 3: 中程度インパクト, 4: インパクトインパクト, 5: 致命的インパクト) で評価する。

世界通貨基金 (International Monetary Fund: IMF) (2017) は、気温の上昇は不均衡なマクロ経済効果をもたらし、不利な結果は、比較的暑い気候の地域に集中するとしている。これらの地域では、農業生産の減少、熱射にさらされた労働者の生産性の低下、投資の減速、健康の損失によって、短期的および中期的に 1 人当たり生産量が低下する。新興市場経済の中央値国にとって、年間平均気温 22°C から 1°C 上昇すると、同年の成長率は 0.9% 低下し、年平均平均気温が 25°C である中位低所得開発途上国では、気温の 1°C 上昇の影響はさらに大きく、成長率は 1.2% 低下する。これらの地域は、全球 GDP の 20% (2016) であるものの、世界人口のほぼ 60% を占めており、世紀末には 75% 以上になると予測されるとしている<sup>37</sup>。

すでに人類は不可逆的な深刻な気候変動の入り口に立っており、直ちに気候変動問題に対して直接的な対策を取る必要がある。

## 第二章 日本の社会と農村，その現在と未来

本章においては，日本の農村が抱えている問題について，人口減少，過疎化，高齢化，日本経済の低迷と世界シェアの低下，地方経済の弱体化等の問題点を個別に整理，急速に日本の競争力が失われていることを明らかにし，成長のための仮説を検証することを目的としている。

### 第一節 人口減少と過疎化

総務省（2015）<sup>38</sup>によると，日本の総人口は，2008年の約1億2,808万人をピークに減少に転じているとしている。生産年齢人口に関しても，1995年の約8,699万人をピークに減少の一途を辿り，2016年には7,665万人となった。さらに2050年の総人口は，約9,708万人，生産年齢人口は約5,000万人になる見通しである。2016年の合計特殊出生率は，1.44であり，人口置換水準である2.07を下回り，人口千人に対する自然増減率もマイナス2.6であるため，今後も人口減少傾向は続くと考えられる。

また，農村と都市を比較してみると，農村は面積では全体の96.6%を占めるものの，人口では全体の1/3程度である。一方，人口集中地区（Densely Inhabited District: DID）の面積は127万haで，全人口の67.3%が生活している。ただし，非DIDの人口は過去40年で45%から30%へと減少しており，その割合は徐々に低下している（国勢調査，2010）<sup>39</sup>。農林水産省（2017）<sup>40</sup>は，農村は都市よりも概ね20年ほど早く高齢化が進行しているとしている。

橋詰（2015）<sup>41</sup>は，農業集落数は，1970年の142,699集落から2000年には135,163集落へと減少していたが，調査対象定義の変更によって2005年には139,465集落に増加した。その後289集落減少し，2010年には139,176集落となっている。無人化等によって消滅した可能性がある集落は，1990～2000年の10年間で215集落，2005～2010年の5年間で56集落程度と試算され，まだ多くはないとしている。

ただし，農業集落調査（1990，2000），農山村地域調査（2010）によると，農業地域における集落数は全般的に減少傾向にあり，特に中間農業地域，山間農業地域における総戸数の減少した集落の割合は，1990年代の39.5%，48.9%から，2000年代には57.6%，66.2%とそれぞれ18ポイント近く上昇していることから，将来的な集落の維持機能が懸念される。

また橋詰は，集落の戸数が4戸以下になると，寄り合いの開催，水路の共同管理等が困難になるなど，集落活動が極端に低下するとしている。さらに将来の予測として，存続危惧集落（人口9人以下でかつ高齢化率50%以上の集落）が，現在の3千集落弱から，2050年には1万3千集落に増加し，これに伴う農地面積は，2010年の3.5万haから，2050年には約8倍の26.9万haになるとしている。

これら農地は，集落による資源管理が困難化することによって，耕作放棄の

可能性が最も高まる農地と想定される。これらの農地の有効利用と LER の向上は、重要な政策課題である。

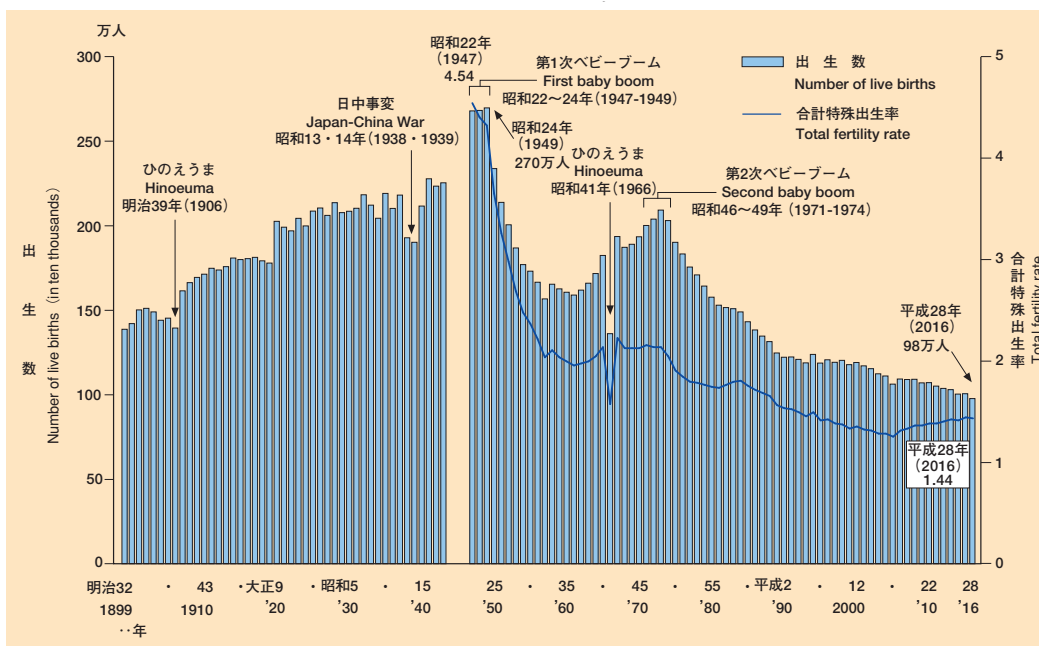


図 2-1 出生数及び合計特殊出生率の年次推移 1899~2016 年

Source: 「我が国の人口動態」, 厚生労働省, 2018 年

## 第二節 高齢化の進展

2016 年における我が国の人口は 1 億 2,693 万人で、高齢化率は 27.3%、高齢者数は 3,459 万人となった。現在の人口動態が続けば、2025 年には 30%が、2050 年には 37.7%が高齢者となり、1 人の高齢者を生産年齢人口 1.4 人で支えることになる（内閣府，2017）<sup>42</sup>。

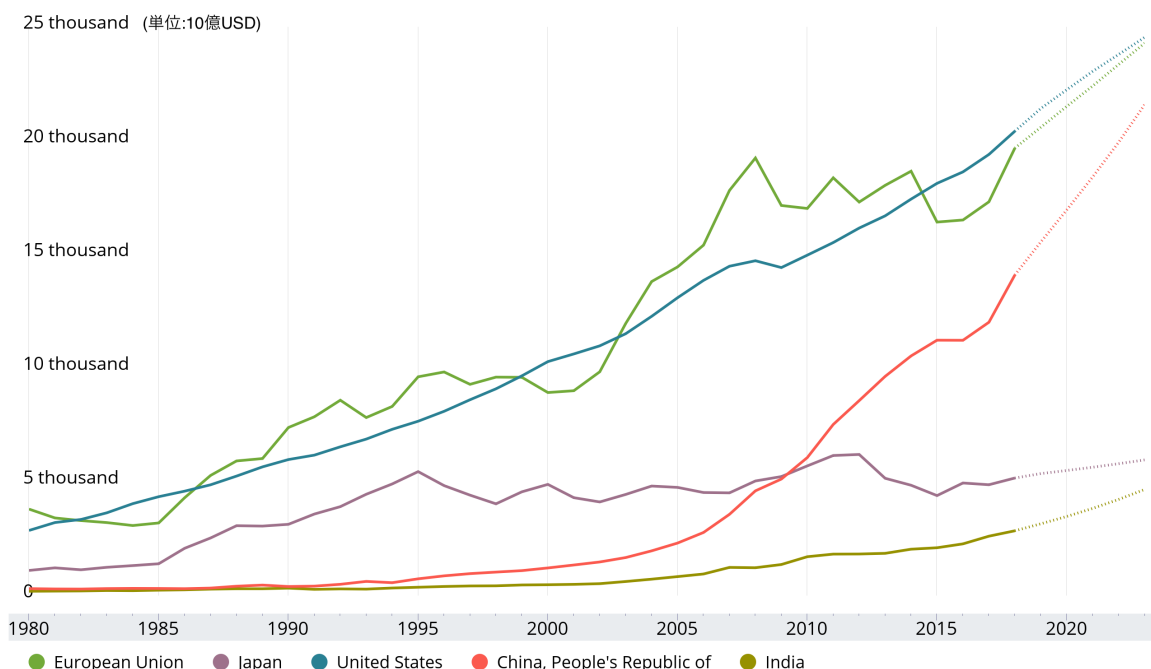
内閣府（2017）<sup>17</sup>は、高齢化の速度について、高齢化率が 7%を超えてからその倍の 14%に達するまでの所要年数（倍加年数）によって比較すると、フランスが 115 年、スウェーデンが 85 年、アメリカが 72 年、比較的短い英国が 46 年、ドイツが 40 年であるとしている。それに対し、日本の高齢化率の倍化年数は、1970 年に 7%を超えると、わずか 24 年後の 1994 年に 14%に達した。2017 年時点の高齢化率が 27.3%であることから、1994 年から 25 年前後で、つまり 2020 年以前に次の倍化を迎えると推計される。一方、アジア諸国に目を移すと、韓国が 18 年、シンガポールが 20 年、中国が 23 年など、今後、一部の国において、我が国を上回るスピードで高齢化が進むことが見込まれる<sup>25</sup>としている。

この事実が示すところは、単に我が国の高齢化が進展するだけでなく、周辺国を始め、地球規模で高齢化社会が進展していくということである。高齢化社会における食料生産では、より少ない労働力と軽微な作業で生産が実現する

ことが求められる。このために、農業におけるデータ利用、AIによる最適化された栽培方法の共有、機械化・自動化の進展は必須事項であり、経済合理性の観点から、これらの技術を稼働させるためのエネルギーにおいても地域内で生産されるようになると推測される。

### 第三節 日本経済の失われた四半世紀

図 2-2 に示すとおり、我が国の名目 GDP は、1993 年から 2018 年に至る間、4.5 兆ドルから 6.2 兆ドル(円ベースでは 491 兆円から 556 兆円、2008SNA 基準<sup>43)</sup>) の間で、概ね横ばい状態ではあるものの、経済成長率のトレンドはマイナス傾向にあり、実質的な成長が見られない(「図 5-3 世界の GDP 成長率の推移と世界、OECD、米国、日本の成長率の傾向(1980-2023)」参照)。世界における日本の 1 人当たり GDP の順位は、1990 年代はトップ 10 圏内であったが<sup>44)</sup>、21 世紀に入って急激に競争力を失い、IMF のデータでは 2017 年は 25 位、OECD 加盟国 35 カ国の中では 20 位まで低下している(「図 2-5 1 人あたり GDP の各国比較と見通し」参照)。また、労働生産性においては OECD 加盟国 35 カ国の中で 21 位、80,318 ドルであり、OECD の平均値から 10,000 ドル以上も低い<sup>45)</sup>。



©IMF, 2018, Source: World Economic Outlook (April 2018)

図 2-2 各国（米国，EU，中国，日本，インド）の名目 GDP（US ドル）の推移（1980-2018），  
IMF World Economic Outlook 2018 Database より筆者作成

四半世紀にもおよぶ低迷は、当初「失われた 10 年」と呼ばれ、後に「失われた 20 年」と呼ばれた。今はさながら「失われた四半世紀」であるが、すでに世界経済においては、日本は今後も成長しないと見られているのかもしれない。政府は、長引くデフレについて、イノベーションの不足等による付加価値生産性の低迷や非正規雇用の拡大と長期化等が、その要因となったと説明している<sup>46 47</sup>。

内閣府（2013）<sup>48</sup>は、日本企業が台湾や中国あるいはアジアの国々との競争が激化する中で、主として製造工程の効率化や海外生産を通じた価格引き下げによって競争力を保持しようとした一方で、米国では、新規事業の創造で収益性を高め、欧州では、製品のブランドを作り上げることで高価格を維持してきたとしている。

2010 年、日本は GDP（US ドルベース）で中国に追い抜かれ、世界 3 位となった。2018 年時点では、日本の GDP が 5 兆ドルであるのに対して、中国の GDP は 14 兆ドル、EU の GDP は 20 兆ドル、アメリカの GDP は 20 兆ドルとなっている（「図 2-2 各国（米国、EU、中国、日本、インド）の名目 GDP（US ドル）の推移（1980-2018）」参照）。

内閣府（2015）<sup>49</sup>によれば、「2000 年以降、欧米の上場企業で内部留保及び現預金比率を増加させてきたように、日本の上場企業でも内部留保が蓄積し、また、同時に現預金の保有も増加した。一般的に、企業が現預金を積み増す理由は様々であるが、積極的な理由として運転資金や将来の投資に向けた資金の確保、業績の悪化やリーマンショックのような危機への備え等が挙げられる。他方で、使い道がないといった消極的な理由も考えられる」と、報告している。

しかし、これまでの政府の分析は、日本経済の長期低迷の状況の説明をしているだけであって、根源的な要因分析に至っていない。G.Desvaux et al.(2015) は、日本経済が数十年わたり低迷している点について、日本の労働生産性の向上が年 2%と低く、2011 年時点で米国と 29%の差があり、2025 年までにその差が 37%にまで拡大する可能性があること、日本の非金融系上場企業の投資収益率を米国の同等企業と比べた場合、23 ポイントも収益率が低いこと、外国直接投資（Foreign Direct Investment：FDI）が殆ど見られないこと等を指摘している<sup>50</sup>。

さらに、L.Alcorta et al. (2014) は、GDP に占める製造業の割合は世界的に低下しており、1970 年の 27%から 2010 年では 17%となっていることを指摘している<sup>51</sup>。図 2-3 から分かるように、我が国の GDP に占める製造業の割合も、1970 年には 30%以上あったが、2012 年では 20%まで低下している。この長期低減の理由は、製造業がその行動原理を、工業化の初期段階においては、コストなどの比較優位を追求することに重点を置いていたこと、次の段階では競争力強化による収益の増大を目指したこと等、時間の経過による事業環境の変化があり、企業はその事業環境に自らを適応させたためである。そして、全球規模での工業化の進展により、比較優位性や競争戦略のみでは事業の生産性を確保できなくなり、現在では、生産力確保のための能力開発に移行したためであると考えられる。言い換えれば、製造業にとっての製造現場は、国や地域

の単位から全地球規模へと拡大・展開したためであると言える。図 2-3 からは、特定の国の GDP に占める製造業の割合が低下しているわけではなく、「GDP に占める製造業の割合の低下」は世界的な傾向であることが理解できる。

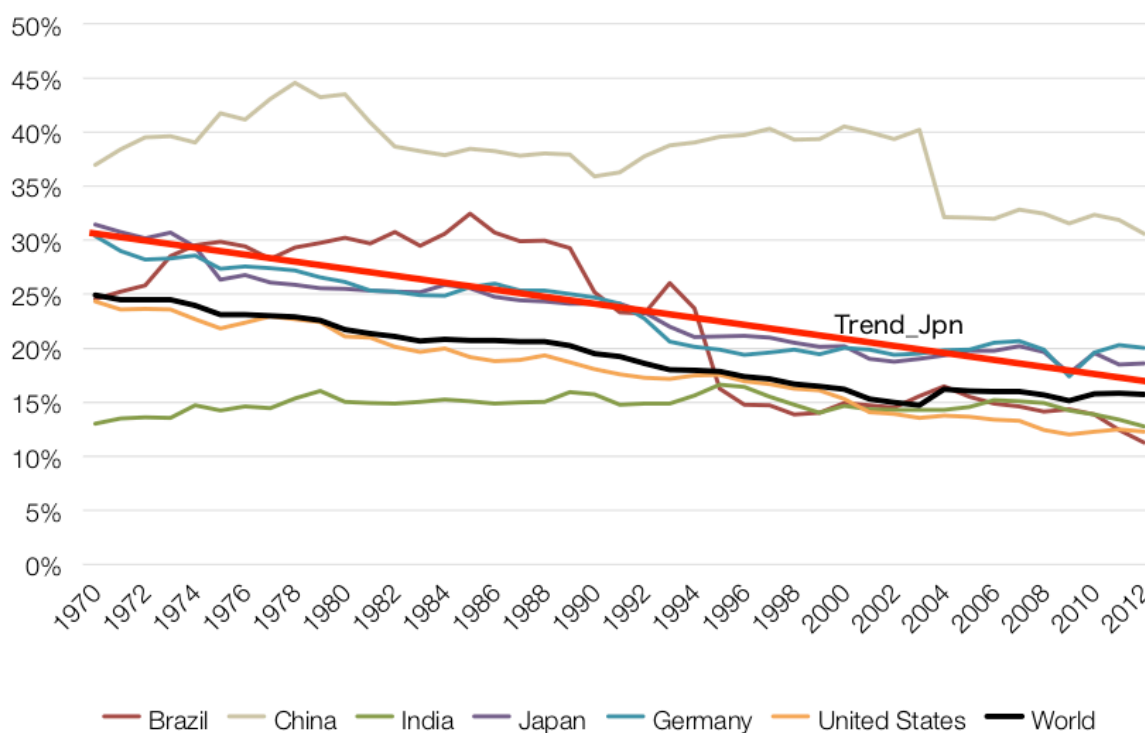


図 2-3 各国（米国，EU，中国，日本，インド，ブラジル，世界平均）GDP に対して製造業の占める割合の推移（1970-2012），

L.Alcorta et al. (2014)，“The Future of Manufacturing: Driving Capacities, Enabling Investments”Figure 2 に筆者加筆<sup>52</sup>

Source: United Nations Statistical Division. The World Bank, World DataBank, World Development Indicators.

日本企業は、バブル崩壊以降、労働生産性と投資生産性を改善しないまま、世界経済の中で低迷を続けている。このような状況の中でも日本企業が存続できる理由は、銀行が不良債権を引き続き繰り越し、経営陣が労働生産性・投資生産性の低い部門に資金を配分し続けることで、自律的な創造的破壊のプロセスが起動されないためである。政府の経済政策は、安定性を重視するあまり、既得権益者を優遇したものとなっており、市場の新陳代謝は遅々として進まず、新規参入者の市場参入を阻んでいる。この状況を先延ばしすることは、新たな付加価値を生み出す機会を逃すだけでなく、コスト競争力と労働生産性をさらに低下させることを意味している。またこの一連の状況は、高齢化がさらに進展し、社会保障費が増大するにつれ、高度な労働力の確保が困難になり、経済成長が困難になるというパラドックスを抱え込むことにもなっている。

これらの課題解決のキーワードは、「労働生産性」と「投資生産性」の向上である。G.Desvaux et al. (2015) は、労働生産性の成長率を現在の2倍にすることにより、単年度のGDP成長率を3%にすることができ、10年で30%、1.4兆ドル(110円/ドルとして、154兆円)(単年)のGDPの上乗せを達成することができるとしている<sup>53</sup>。しかし、日本がかつて経験した高度経済成長期とは、すでに地球経済のフェイズが変わってしまっているため、成長分野の中心は製造業ではなくなっている。政府は製造業偏重の成長政策を、ICT、医療、福祉、農業分野等、新たな成長分野に展開していく必要がある。これは、成長政策を経済産業省中心のものから、総務省、厚生労働省、農林水産省等とさらに強く連携した、インターディシプリナリーな解決策をもたらす政策に転換する必要性を意味している。

#### 第四節 弱体化する地方経済の課題と方策

伊藤ら(2014)<sup>54</sup>は、人口減少下における地域の発展に向けた総合的な計画・ビジョンについて、人口減少、厳しい財政状況を考慮し、従来の社会資本の整備目標を、資本ストックの縮減・集積・マネジメント重視への政策転換すること、行政サービスの供給責任と負担の在り方及び小規模自治体における行政サービス提供体制の仕組み・規模・範囲を適正化すること、地方経済の集約と活性化を執行する上での地方交付税、地方債の要件等の政策手段の見直すこと、産業振興、民需活性化に向けた民間の資金・人材・技術・ノウハウの大胆な導入・連携の仕組み構築等を提言している。資金の流れの観点から地域経済をみると、90年代は公共事業を中心に、また近年では社会保障関連を中心に、全国的に公需等への依存を高めているとしており、小さな自治体ほど公需等への依存度が高く、財政力は低いため、持続可能とはいえないとしている(図2-3)。

また伊藤ら(2014)<sup>22</sup>は、地域経済を活性化させるためには、①地銀等地域金融機関の大胆な再編を含めた経営効率化やファンド等を活用した多様な資金の地域への供給を含む地域金融の活性化、②大都市と地方の医療サービス・介護施設の偏在を含む地域の都市機能の集約・集積に向けた障害の除去に向けた規制改革、③外国人旅行客拡大のための環境整備、広域観光の促進、秋の大型連休創設、有給休暇取得促進、休日分散化等の政策推進と業界再編・対日投資促進等を通じた観光産業の再生による観光の活性化、④若者の地域への定着、「地域おこし協力隊」の拡充による地域外の専門家の活用、「緑の雇用」施策等若い人材の還流を促し農業分野の就業人減少に対処する施策、農業分野での法人化促進と規制緩和、地域の国公立大学の得意分野を活かす、優れた教育、研究拠点(リージョナルCOE)を創設・選定し、併せてこうした教育・研究を通じた産業振興を推進することで、地域活性化と若者の定着の両立を図る施策による人材還流及び外部専門知識の活用地域への「人材や知識の集積」を実現することを提言している。

確かに、上述のような提案は、地方経済を活性化するためのアイデアとし



ては素晴らしいが、公需に依存せずプライベートセクターの資金を利用するのであれば、投資あるいは投入資金に対するイグジットが必須となる。投資に対するリターンを想定しないビジネスプランは、右肩上がりの経済における発想であり、実現性に乏しいと言わざるを得ない。人口減少下（歳入減少下）における公共政策デザインは、経済波及効果を算出した上で事業のイグジットをデザインし、さらにデッド（負債）と仮想的なエクイティの配分にも考慮したものである必要がある。

全市町村の主要財政指標<sup>55</sup>を比較すると、財政力指数 0.25 以下の自治体は、全自治体数の 23.3%（406/1741 自治体）を占め、そのうち人口 1 万人以下の自治体が 84.5%が占めている。その内訳は、人口密度においては、100 人/km<sup>2</sup> 未満の自治体が 90.6%を占め、人口密度の範囲を中央値である 204 人/km<sup>2</sup> に広げると割合は 96.8%に上昇する。財政力指数 0.25 以下にある自治体の合計面積は 104,736 km<sup>2</sup>で、全自治体面積合計の 28.1%に相当し、人口密度の中央値は 26 人/km<sup>2</sup>である。条件を財政力指数 0.5 以下まで広げると、人口密度の中央値は 161 人/km<sup>2</sup>で、自治体の合計面積は 253,102 km<sup>2</sup>、全自治体合計面積の 67.9%となる。つまり、日本の 2/3 以上の地域が厳しい財政状況に置かれていることが理解できる<sup>56</sup>。一方、財政力指数が 1.0 以上のいわゆる不交付団体については、税収面において、大企業の本社地、工業団地の所在、空港の所在、自衛隊の存在、有名リゾート地等、それぞれ特徴を有している。その中でも、人口密度 204 人/km<sup>2</sup>（中央値）以下の自治体には、ほぼ原子力発電所が存在している。今後、財政力指数が低い地域の人口がさらに減少し、高齢化が同時に進行する状況することから、新たな収入源を確立しない限り、外部投資なしに自助のみで財政再建を達成することは極めて困難であると推測される。

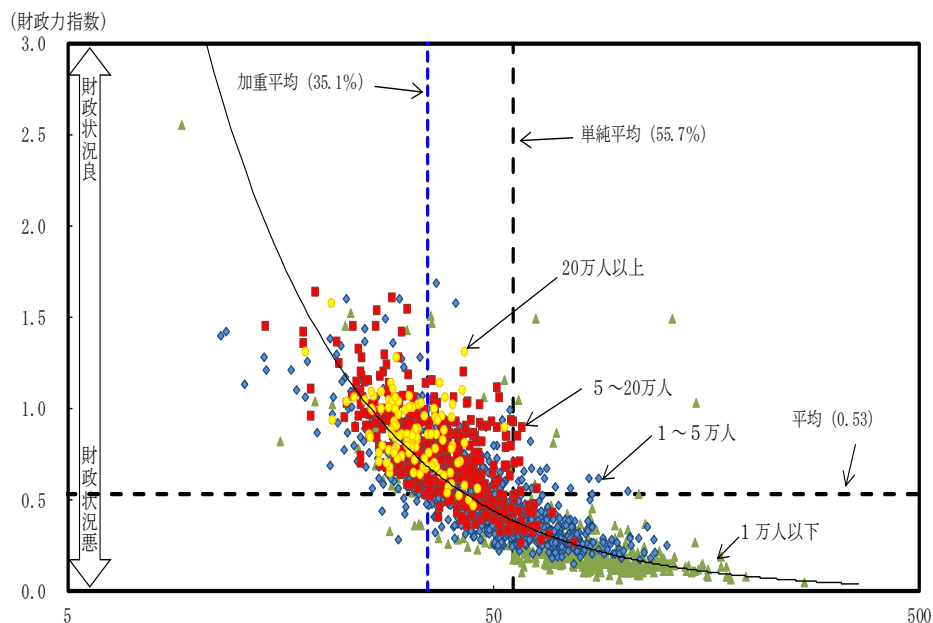


図 2-4 市町村の公需等依存度と財政状況

Source: 経済財政諮問会議資料, 2014

- (注1) 内閣府「都道府県別経済財政モデル」、総務省「地方公共団体の主要財政指標一覧」,「国勢調査」により作成, 2010年の値。
- (注2) 公需等依存度は, (公的固定資本形成+政府最終消費支出+年金給付額)/市町村の域内総生産額。
- (注3) 域内総生産額は, 経済活動別県内総生産を市町村別産業別15歳以上就業者数により按分。市町村別政府最終消費支出は, 県別政府最終消費支出を市町村別人件費・物件費及び民生費(総務省『行政投資実績等』)により按分。市町村別公的固定資本形成は, 県別公的固定資本形成を市町村別土木費・災害復旧費により按分。市町村別年金給付額は, 県別年金給付額を65歳以上人口により按分。
- (注4) 全部で1714市町村(市町村合併を行った都市及び東京都23区を除く, 2010年度時点)
- (注5) 財政力指数=基準財政収入額を基準財政需要額で除して得た数値の過去3年間の平均値。

(摘要)

縦軸：財政力指数, 横軸：公需依存度割合(%)対数目盛

黄色：20万人以上, 赤：5-20万人, 青：1-5万人, 緑：1万人以下

国土交通省(2011)<sup>57</sup>は, 全国を1km<sup>2</sup>メッシュで分析した場合, 2050年に向かって全国的な平均人口減少率である25.5%を上回って人口が減少する, すなわち人口が疎になる地点が現在の居住地の6割以上を占めるとしている。人口減少率を市区町村の人口規模別に見てみると, 人口規模が小さくなるにつれて人口減少率が高くなる傾向が見られる。特に, 人口規模が10万人以下の市区町村では, 全国平均の人口減少率である25.5%を上回る市区町村が集中していることが理解できる(図2-4)。国土交通省(2011)は, 「2050年には, 特に現時点で人口6,000~1万人の市区町村の人口がおおよそ半分に減少する。居住・無居住の別でみると, 2050年までに, 現在, 人が居住している地域のうち約2割の地域が無居住化する。現在, 国土の約5割に人が居住しているが, それが4割にまで減少。離島においては, 離島振興法上の有人離島258島のうち約1割の離島が無になる可能性がある」としており, 人口減少による問題は, 静かに着実に進行している。

国土交通省(2011)<sup>58</sup>は, 無居住化あるいは低密度化する地域の土地利用の内訳を農地利用が29.4%, 草原が3.5%, 植林地が28.5%, 二次林が30.1%としており, 92.4%が農業及び林業目的の利用としている。しかし, 土地利用規制に関しては, 55.6%が白地となっており規制が課されていない, としている。仮にこのような地域での人口半減が生じた場合, 前述の財政力指数0.25以下の自治体の人口密度の中央値は14人/km<sup>2</sup>となり, 財政再建はもとより, 行政サービスの提供についても困難と極端な効率の低下が生じるものと推測される。

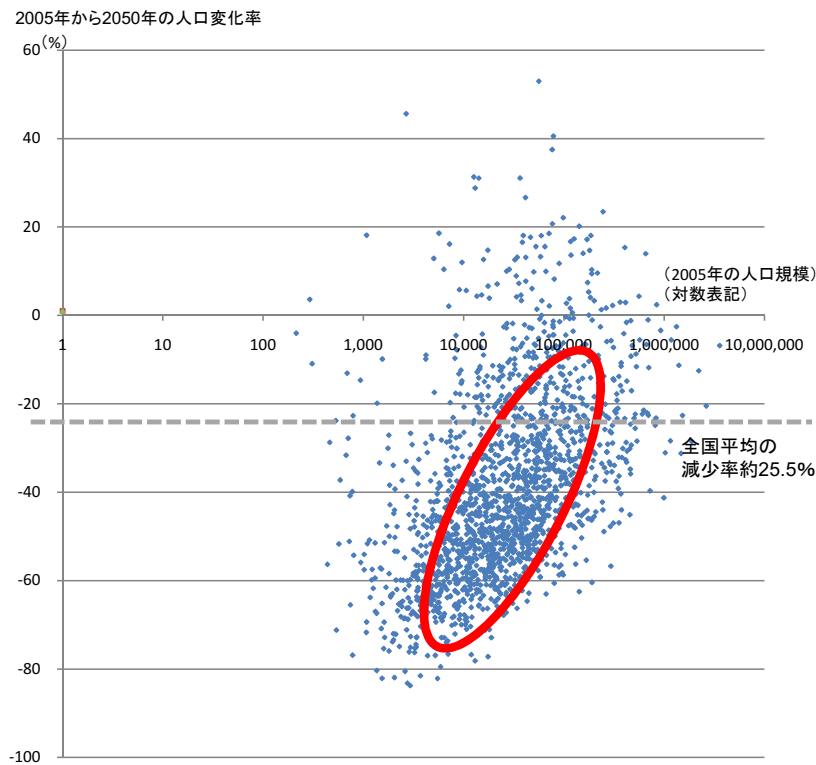


図 2-5 市区町村の人口規模と人口変化率の関係

Source: 国土交通省国土主計局推計値, 2011

これまで見てきたように、農村においては、高齢化、過疎化、公需依存、無居住化が同時に進行しており、問題解決のための出口が見出しにくい状況である。農村は、一方では日本の風土の原風景であり、文化の孵卵器ではあったが、他方では食料供給と労働力供給のリソースでもあった。特に、戦後復興から高度経済成長の過程においては、国としての経済規模の拡大が優先されたため、地域内で循環可能な経済システムを構築することより、労働力供給に重点が置かれた。このような理由により、現在のような状況になる以前から、農村においては健全に域内経済が循環する仕組みが確立できていなかった。20世紀においては、工場の郊外移転により農村に工業化の要素を部分的に導入することで、兼業農家制度がうまく機能していた時代もあった。しかし、前節で述べたとおり、今世紀における製造業の課題は、特定の国、地域をベースとしたコストをメインとする競争戦略から、グローバルバリューチェーン(Global Value Chain: GVC)における生産能力の確保という新たなフェーズに移行してしまっている。現在では、製造業の生産現場は、インフラ、公共政策、ファイナンス、ロジスティクス等の条件が満足のいくもので、誘致者と製造者の間で合意されれば、地球上のあらゆる場所に移転可能な状況となっている。20世紀のように、敷衍的に日本の全ての農村において、製造業と兼業農家の組み合わせを考えるべきではない時代となったのである。

高齢化，過疎化，公需依存，無居住化が同時に進行する現在の農村においては，より直接的かつ具体的に農村に対する経済的還流を行う仕組みを構築すること必要である。

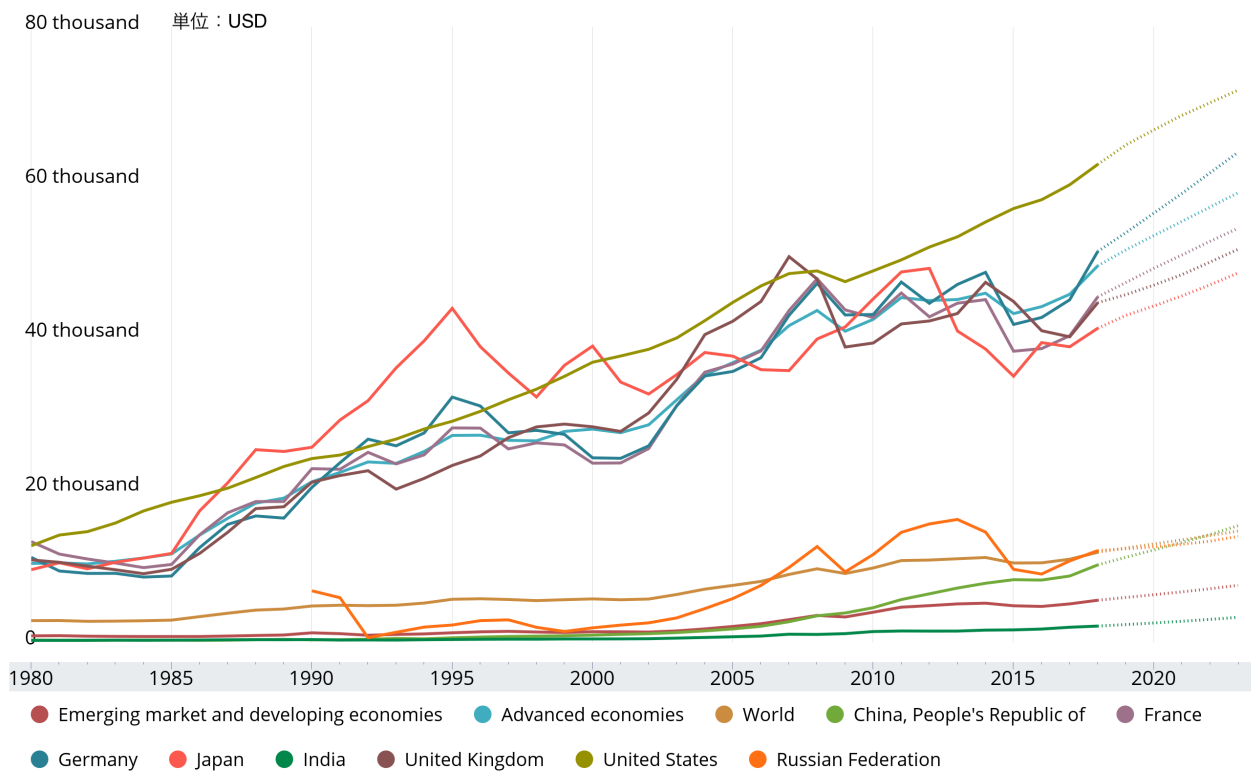
## 第五節 世界の中での日本の立ち位置

世界経済における日本の GDP シェアは，漸次縮小傾向にあり，現在の 5.9%<sup>59</sup>から，新興国の成長だけでなく，日本の経済的な停滞と人口減少により，今後も更に低下していくことが予想される。また，1 人あたり GDP についても，2023 年には OECD 加盟国の低位国になっていくと見られている（図 2-6）。このことは，国際社会における日本の影響力の低下を招き，外交上の発言力のさらなる低下を招いていくと見られる。

さらに，日本を取り巻く安全保障環境は，日本の国際的地位の低下とパワーバランスの変化により，国際情勢の流動化が起こったとしてもコントロールできる状況ではないこと，技術革新の急速な進展によるサイバーテロ，大量破壊兵器等の拡散，国際テロ等国境を越える脅威の出現により新たな局面にたっていること等，以前とは全く違う地平を見せている。

また，ミレニアム開発目標（Millennium Development Goals：MDGs）から引き継がれた持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals：SDGs）に掲げられている貧困の根絶と飢餓の終焉を始めとする 17 の目標と 169 のターゲットは，環境を含めた「人間の安全保障」に関する問題であり，人類の共通課題としてより強く共有されることとなった。21 世紀においては，環境問題，エネルギー問題，開発課題等，どの国も一国のみで解決することは不可能であり，人類の智慧とテクノロジーと対話によってのみ解決できるものである。

21 世紀とは，我が国が，平和で安全で持続可能な繁栄を求める際に，地球規模での課題解決にコミットし，世界に貢献していかななくてはならない時代であると言える。特に日本は，化石燃料・鉱物資源のほぼ全量と，食料の 60%を輸入に頼り，国際金融市場を通じて資金調達をおこない収益を確保し，先進国の一員として経済活動を行うことでレゾンドートルを有している。過去の高度経済成長を実現した実績，世界 3 位の経済規模，高い科学技術，先進的な平和憲法等，ユニークな立ち位置にあるため，現在進行している気候変動問題に対しても，科学的学術的な側面だけではなく，政治的，経済的，社会学的な立場からも直接的にコミットすることが可能であり，またその必要性がある。



©IMF, 2018, Source: World Economic Outlook (April 2018)

図 2-6 1人あたり GDP の各国比較と見通し  
IMF, World Economic Outlook 2018 より筆者作成

(注 1) 比較国 : 米国, 英国, フランス, ドイツ, ロシア, 日本, 中国, インド,

(注 2) 比較地域 : 世界経済平均, 先進国, 新興市場及び新興国



### 第三章 我が国のエネルギー政策と再生可能エネルギー活用の展開

本章においては、我が国のエネルギー政策を時系列で整理し、再生可能エネルギー利活用への経緯について分析するとともに、太陽光発電、風力発電、バイオマス発電、中小水力発電、地熱発電の普及状況を明らかにした上で、再生可能エネルギーの主力電源化に向けての動向を明らかにすることを目的としている。

#### 第一節 エネルギー政策の概観

エネルギー資源の乏しい我が国においては、一次エネルギーの自給率はわずか8.3%（2018）であり、原油に至っては99.7%を輸入に頼っている<sup>60</sup>。我が国は、二度のオイルショックを経験し、エネルギーミックスと呼ばれる多様な電源構成による発電と省エネ技術を確立することで電源を確保してきた。しかし、2011年3月11日の東日本大震災による福島第一原子力発電所事故以降、原子力発電所の安全性に対する疑問が広く呈されるようになり、再生可能エネルギー利用への関心が高まっている。

資源エネルギー庁（2014）<sup>61</sup>のエネルギー基本計画の中でも、太陽光発電については、「中長期的にはコスト低減が達成されることで、分散型エネルギーシステムにおける昼間のピーク需要を補い、消費者参加型のエネルギーマネジメントの実現等に貢献するエネルギー源としての位置付けも踏まえた導入が進むことが期待される」と記されている。

元来、農地には太陽光発電設備を設置することができず、太陽光発電設備を設置する場合には、農地を雑種地に転用する必要があった。しかし、農林水産省（2013）<sup>62</sup>の農村振興局長による「支柱を立てて営農を継続する太陽光発電設備等についての農地転用許可制度上の取扱いについて」の通達以降、農地での発電のための一時転用も正式に認められ、その法的制度、技術的基盤も整備されてきた。

上述の支柱を立てて営農を継続する太陽光発電設備がソーラーシェアリング発電設備である。通常太陽光発電事業では、発電を開始するために土地を取得しあるいは借り受け、発電設備を設置する必要があったが、本通達により農業従事者は、農地本来の目的と収穫量をあまり変えることなく発電による売電が可能となった。ソーラーシェアリング発電では、土地の取得費用、造成費用、固定資産税等、他の太陽光発電と比べコストメリットがあり普及が期待されていたが、通達から5年が経過した現時点においても一般的な太陽光発電に比べその普及は低迷している。

資源エネルギー庁（2018）は、2016年度において再生可能エネルギーの割合が15.3%（既設の水力発電を除いた場合には、7.8%）であるとしている。この数字は主要国と比較した場合、10ポイント以上低く、日本より再生可能エネルギーの割合が低いのは、唯一、米国の13.6%という数値のみである（ただ

し、米国は 2035 年時点でのクリーンエネルギーの稼働率を 80%としている)。2014 年に策定した「第 4 次エネルギー基本計画」においては、エネルギーミックスと呼ばれる 2030 年時点での電源構成が計画されており、ゼロエミッションエネルギーによる発電が 44%となっており、そのうち原子力発電を 22~20%、再生可能エネルギーを 22~24%と想定している。しかし、福島第一原発事故後に伴う、世界的な原子力発電所の安全基準の厳格化と事故後の広範な影響に反対する国民感情から、原子力発電所の 2 割稼働の実現はかなり困難と見られている。このような状況において、政府は 2018 年、「第 5 次エネルギー基本計画」を閣議決定し、再生可能エネルギーを主力電源化し、原子力発電の依存度を低減させることを明記した。ようやく、我が国も脱炭素社会の実現にむけて、スタートラインに立ったと言えるだろう。

## 第二節 再生可能エネルギー開発とソーラーシェアリング発電実用までの経緯

表 3-1 に示す通り、エネルギー資源に乏しい我が国の再生可能エネルギー開発の歴史は、①「オイルショックと省エネルギー技術の開発期」(1972~1990 年間)、②「再生可能エネルギー利用への政策的支援期」(1991~2010 年間)と③「東日本大震災の発生による本格的事業展開期」(2011 年以降)の 3 期に大別される。我が国で、ソーラーシェアリング発電が発明され実用化されるまでには、農地における実験的な発電設備の設置、再生可能エネルギー固定価格買取制度のスタート、農地のみなし転用の許可等、さまざまな経緯があった。

表 3-1 我が国の再生可能エネルギー政策の経緯と背景

### オイルショックと省エネルギー技術の開発期

|      |  |
|------|--|
| 1973 | 第四次中東戦争勃発                                |
| 1974 | 第一次オイルショック (原油価格が \$5.12 から \$11.65 に上昇) |
| 1974 | サンシャイン (新エネルギー技術開発) 計画発足                 |
| 1979 | イラン革命                                    |
| 1980 | 第二次オイルショック                               |
| 1980 | 新エネルギー総合開発機構 (NEDO) 設立                   |
| 1988 | 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 設立                 |
| 1990 | 地球温暖化防止行動計画                              |

### 再生可能エネルギー利用への政策的支援期

|      |                               |
|------|-------------------------------|
| 1993 | ニューサンシャイン計画発足                 |
| 1994 | 住宅用太陽光発電補助開始                  |
| 1997 | 地球温暖化防止京都会議開催                 |
| 2000 | 農地法関係事務に係る処理基準についての農林水産事務次官通知 |
| 2001 | グリーン電力認証機構発足                  |
| 2002 | エネルギー政策基本法施行                  |



2002 RPS 法施行(電力会社に対して再生可能エネルギー買取を義務化)  
2005 ソーラーシェアリング発電特許公開  
2009 太陽光発電の余剰電力買取制度開始 (10年間)

東日本大震災の発生による本格的事業展開期

2011 東日本大震災発生 (3月11日)  
福島第一原子力発電所事故  
2011 電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法  
2012 再生可能エネルギーの固定価格買取制度スタート<sup>2)</sup>  
2013 営農を継続する太陽光発電設備等についての農地のみなし転用許可  
2014 農山漁村再生可能エネルギー法施行  
2014 電力各社が系統連系回答保留を発表

---

(注1) 小林 信一. 2014. 『再生可能エネルギーの政策史』を参考に筆者作成

(注2) 買取期間は、太陽光(但し、10kW未満は10年間)、風力、水力、バイオマスが20年間。地熱発電が15年間である。

### 第一項 オイルショックと省エネルギー技術の開発期 (1972~1990年間)

1973年10月、第四次中東戦争の勃発により、日本の消費者物価指数は、1年間で23%上昇、第一次オイルショックが勃発して、「狂乱物価」という造語が誕生した。この事態を受け、政府は第一次サンシャイン計画を策定し、新エネルギー産業開発機構を設立した。その後、1979年のイラン革命により、原油価格が高騰、第二次オイルショックが起こった。1980年には、新エネルギー開発機構(New Energy Development Organization [NEDO] 現:独立行政法人 新エネルギー産業技術総合開発機構)が設立され、新エネルギー関連プロジェクトが実行に移された。1988年には、国際連合の中に政府間組織として気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が設立され、2年後の1990年には地球温暖化防止行動計画が公布された。この間、自動車の希薄燃焼技術、家電の省エネ化、ヒートポンプ利用等が始まり、後の日本の産業競争力を高めることとなった。

### 第二項 再生可能エネルギー利用への政策的支援期 (1991~2010年間)

1997年に開催された地球温暖化防止京都会議(COP3)では、GHGの排出量を1990年レベルに削減することが定められた。UNFCCC(2016)<sup>63</sup>は、2016年3月24日に京都議定書の第一約束期間における日本の削減目標値が達成されたことを発表している。

2002年には、エネルギー政策基本法<sup>64</sup>により、エネルギーに関する「安定供給の確保」、「環境への適合」、「市場原理の活用」等の基本理念が掲げられようになった。また同法律では、国は「エネルギー基本計画」を定めなければならないこと、国際協力の推進、知識の普及についても規定された。同年6月に公布された「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法(RPS

法)」<sup>65</sup>では、電気事業者に対して、一定量以上の新エネルギー等を利用して得られる電気の利用を義務付けることにより、新エネルギー等の利用を促進することが目的とされた。農地における発電事業としては、1998年より山梨県北杜市において実験的な発電施設が設置されたが、当時の農地法では、農地における発電は許可されていなかったため、RPS法の対象施設としては認可されなかった。

### 第三項 東日本大震災の発生による本格的事業展開期（2011年以降）

東日本大震災は、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに伴って発生した津波、及び余震により引き起こされた大規模地震災害である。この地震によって起こった東京電力福島第一原子力発電所事故は、炉心溶融、水蒸気爆発等一連の放射性物質の放出をともなった原子力事故で、国際原子力事象評価尺度（INES）においてレベル7（深刻な事故）に分類された。本島（2011）<sup>66</sup>は、東日本大震災は東北地方を中心として我が国の農林水産業に1兆7,522億円の被害を及ぼし、その内訳は農業で7,412億円、水産で8,952億円、林野で1,157億円に及んでいるとしている。現段階で、福島原発関連の被害額の最終的な集計はなされていないが、放射能汚染は長期にわたるため、その累計被害額は相当な規模になると推察される。

### 第四項 ソーラーシェアリングの発明

CHO技術研究所の長島彬氏は、農機具メーカーで開発に従事し、定年後に「光飽和点」の概念に着想を得て、太陽光発電の設置スペースの確保と農業における生産性を両立させる「ソーラーシェアリング」技術を考案した。この技術は、2003年、2004年に特許出願され、2005年に特許公開となった（特許公開2005-277038）<sup>67</sup>。しかし、長島氏はこの我が国に生まれた技術を、誰もが、また何処の国でも使用できるように無償公開している。

### 第五項 再生可能エネルギー固定価格買取制度のスタート

再生可能エネルギーの固定価格買取制度は、2012年7月1日、再生可能エネルギー源（太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス）を用いて発電された電気を、国が定める固定価格で一定期間、電気事業者調達を義務づける（Feed-in-Tariff=FITと呼ばれる）もので、それまでの余剰電力のみを買い取る制度に代わるものとしてスタートした。

資源エネルギー庁（2012）<sup>68</sup>は、電気事業者が調達した再生可能エネルギー電気は、送電網を通じて普段使う電気として供給され、電気事業者が再生可能エネルギー電気の買取に要した費用は、電気料金の一部として使用電力に比例した賦課金という形で国民が負担するとしている。再生可能エネルギーの固定価格買取制度による買取契約は20年間となっており、買取価格の設定も再生可能エネルギーによる発電が促進されるように高めの設定となっている。つまり、一度発電を開始すれば、20年間に渡り売電収入が得られる一方、売電契約者は20年間の電力供給義務を負うことになる。

## 第六項 農地のみなし転用の許可

2013年3月31日、農林水産省は農村振興局長名で、太陽光発電設備等の農地転用許可取扱いについて通達<sup>26</sup>を出した。この通達は、営農型発電設備（ソーラーシェアリング発電）を一定の条件下で認める趣旨のもので、申請者に対して、

- ① 営農型発電設備の支柱の基礎部分について、農業委員会より一時転用許可を受けるものとする。その際、支柱は簡易な構造で容易に撤去できるもので、転用許可期間を3年間以内とし、以下に示すような問題がない場合には再許可を受けることができる、
  - ② 営農型発電設備の下部の農地において生産された農作物に係る状況を毎年報告し、必要な知見を有する者の確認を受けること、
  - ③ 営農型発電設備の下部の農地における単収が、同じ年の地域の平均的な単収と比較して概ね2割以上減少しないこと、
  - ④ 営農型発電設備の下部の農地において営農の適切な継続が確保されなくなった場合など、あるいは営農型発電設備を改築又は発電事業を廃止する場合には、遅滞なく報告すること、
  - ⑤ 営農型発電事業が廃止される場合には、支柱を含む当該設備を速やかに撤去し、回復すること、
- という、5点の条件を課している。

この「農地のみなし転用許可」については、青地・甲種農地・第1種を含むすべての農地が対象となっている。ソーラーシェアリング発電は営農の継続が前提となるため、第2種・第3種農地を転用し営農を行わない「野立て太陽光発電」とは全く別の概念である。

農林水産省（2017）<sup>69</sup>は、本通達以降のソーラーシェアリング発電の実績を2013年度が97件（下部の農地面積の合計は19.6ha）、2014年度が304件（60.5ha）、2015年度が374件（72.0ha）であるとしている。農地を転用して太陽光発電を行なった件数が、2015年度までに2万8,818件、転用許可面積5,464.4haにのぼることと比較すると、ソーラーシェアリング発電は件数で2.6%、面積で2.8%と非常に低迷していることが示されている。

## 第七項 農山漁村再生可能エネルギー法の成立

国会は、再生可能エネルギーの地域利用を促進させるために、「農林漁業の健全な発展と調和のとれた再生可能エネルギー電気の発電の促進に関する法律」（農山漁村再生可能エネルギー法、以下農村再エネ法）を2013年11月15日に成立（2014年5月1日施行）<sup>70</sup>させた。本法律は、農村地域の資源を農業との調和を図りながら再生可能エネルギー発電に活用し、売電収益の地域還元や再生可能エネルギー電気の地域利用等を通じ、農業・農村の所得向上等による地域の活性化に結び付けることを目指している。前年の農地のみなし転用による営農型発電設備（ソーラーシェアリング発電）が、個々の農業従事者に対する施策であったに対して、本法律では地域で協議会等を設置することにより農山漁

村における再生可能エネルギー利用促進と農林漁業上の土地利用等との調整を適正化し、農山漁村の農業振興に資するような再生可能エネルギー発電事業を促進するためのものとされている。

農林水産省・経済産業省・環境省（2014）<sup>71</sup>は、農村再エネ法の実施に当たり、基本方針として、

- ① 農林漁業の健全な発展と調和のとれた再生可能エネルギー電気の発電の促進による農山漁村の活性化の意義及び目標に関する事項として、農林業の有する機能の発揮に支障を来さないよう、経済的・社会的な利益や関係者の気運の高まりにより、農山漁村の自律的発展を図っていくこと、
  - ② 農林漁業の健全な発展と調和のとれた再生可能エネルギー電気の発電の促進のための施策に関する基本的事項として、農林水産省は、基本計画作成促進のための各種施策の充実・助言、モデル事例の紹介、木質バイオマス・小水力発電等の普及による再エネの地産地消の推進等の政策的支援を行なうこと、
  - ③ 農林地並びに漁港及びその周辺の水域の農林漁業上の利用と再生可能エネルギー電気の発電のための利用と調整に関する基本的事項として、荒廃農地を含めた未利用地の優先的利用、保安林の保護、漁港・水域の保全と支障のないこと、
  - ④ 再生可能エネルギー発電設備の整備と併せて行う農林地の農林業上の効率かつ総合的な利用の確保その他の農林漁業の健全な発展に資する取り組みの促進に関する基本的事項として、関係農林漁業者やその組織する団体との調整、また、農林地の農林業上の効率かつ総合的な利用の確保、農林漁業関連施設の整備、農林漁業者の農林漁業経営の改善の促進、農林水産物の生産又は加工に伴い副次的に得られた物品の有効な利用の推進等、具体的な例示、
  - ⑤ その他の基本計画の作成に関する基本的事項として、意義の明確化、構成員に農業委員会、原料供給を伴う場合の農林漁業者や事業者、ファイナンスの実務的な知見を有する者等を含めること、大臣等による適切な時間内での認可、発電設備撤去の際の費用、土地等の原状回復等を基本計画に織り込むこと、
  - ⑥ 自然環境の保全と調和その他の農山漁村における再生可能エネルギー電気の発電の促進に際し配慮すべき重要事項として、自然環境との調和、景観の保全、歴史的風致の維持及び向上、
- を定めている。

農林水産省は、この法律に基づく事業に対する目標として、2018年度に、全国で100地区以上の事業の開始と、取り組みに着手している地区が全国で200地区以上と定めているが、2018年3月末時点での基本計画作成済み地区は47地区となっており、既に発電事業を開始している地区は、筆者のヒアリングによると4自治体のみとなっている（因みに、農林水産省は、2018時点で、事業開始地区のデータを公開していない）。同法に基づく再エネ発電事業は、民間事業者によるものに比べ、事業開始までの時間を要しており、今後、事業をより

迅速かつスムーズに進めるための追加の施策や制度の改善が望まれる。なぜなら、事業開始までのリードタイムの長期化は、資本的支出（Capital Expenditure: CAPEX）の増加を意味し、事業収益性の低下を招くためである。

また、本法律の成立に関連してソーラーシェアリング発電を開始した自治体・地域は、まだない。

### 第三節 我が国の再生可能エネルギーの現状

#### 第一項 再生可能エネルギーの緩やかな拡大

再生可能エネルギーの導入状況を FIT 法導入以前と FIT 法導入以降で比較すると、全体の発電量に占める再エネの割合は、2011 年度における 2.7%（水力発電を含めた場合には 10.8%）から、2016 年度 7.8%（水力発電を含めた場合には 15.3%）に増加した<sup>72</sup>。しかし、電力会社の系統に接続する際の空き容量の問題、非常に煩雑な許認可手続き、我が国としての再エネに対する展望が欧米・中国に比べ明確でないこと等から、再エネ発電事業の拡大は緩やかに進んでいる。この点については、脱炭素社会を構築するためにも、より積極的な政策が待たれる。

#### 第二項 太陽光発電

太陽光発電は、固定価格買取制度以降では導入量・認定量とも最大で再生可能エネルギー全体の 9 割を占める。資源エネルギー庁（2017）<sup>73</sup>は、2012 年 7 月から 2016 年 11 月までの導入量を 3,155 万 kW としている。その内訳は、全体の 83% が産業用太陽光発電であり、住宅用太陽光発電は 17% 程度である。

太陽光発電については、コスト低減が大きな課題となっている。資源エネルギー庁（2016）<sup>74</sup>は、欧州における太陽光発電システム費用が 15.5 万円/kW であるに対して、日本では 2016 年時点において 28.9 万円/kW となっており、約 2 倍の水準にあるとしている。コスト高の原因については、太陽光発電モジュールそのものが国際流通商品であるにも拘らず、海外に比べ 1.7 倍（住宅用太陽光発電モジュールでは 3 倍）の価格差があるとしている。また、日本特有の災害対策、山林の伐採抜根、治水対策等のため工事費・架台費用が 2.1 倍である。

買取価格については、調達価格算定委員会で年度ごとに策定している。これまでは通常要する費用を基礎に「効率的な」費用水準を決定している。つまり、前年度に稼働した発電設備の安価なものから上位 25% を想定値としてシステム費用を決定している。この価格に土地造成費、接続費、運転維持費、土地賃借料、設備利用率等についても想定値を決定し、この合計に内部収益率（IRR）が 5%（2015 年 6 月 30 日までは 6%）となるように買取価格の決定を行っている。<sup>75</sup>

資源エネルギー庁（2016）<sup>37</sup>は、今後再エネの割合が増加するに従い、賦課金の増加による国民負担が増えることや FIT 認定を受けても発電を開始しない

ケースが 30 万件を超えたことから、2017 年 4 月に改正 FIT 法を施行した。これにより FIT からの自立を目指し、非住宅用太陽光発電では 2020 年には発電コスト 14 円/kWh、2030 年には発電コスト 7 円/kWh を、住宅用太陽光発電においては、2019 年で FIT 価格が家庭用電気料金並みに、2020 年以降、早期に売電価格が電力市場価格並みを実現することを目標として定めた<sup>76</sup>。

さらに 2MW 以上の事業用太陽光発電においては、Pay as Bid 方式と呼ばれる応札価格を調達価格とする方式の入札制度をスタートさせた<sup>77</sup>。現段階では、試行期間として 2017 年（1 回）、2018 年（2 回）の入札が行われる予定であるが、第一回では 500MW 募集容量に対する入札を行ったものの、141MW のみが落札され、さらに落札確定容量は 1/10 以下の 41MW<sup>78</sup>となっており、今後、制度の改善が望まれている。

一般社団法人太陽光発電協会（2018）<sup>79</sup>が、2017 年 11 月末に会員企業 46 社中太陽光発電事業者連絡会、公共産業部会に参加する 23 社に行ったアンケートでは、入札に参加しない理由として、接続契約・入札保証金没収要件が 26%、事業実施の場所 26%、系統の空き容量 23%、上限価格 16%となっている。具体的な理由としては、電力会社との協議が必要となる系統接続の検討にかかる期間が長く、落札から 3 ヶ月での接続契約完了が予見困難であること、接続契約を締結できない場合、2 次保証金が没収となること、入札条件そのものも接続契約との関係なので予見が困難であることが挙げられている。この課題に対して、系統制約改善（日本版コネクト&マネージ等）による接続予見性改善を要望する回答もあった。メガソーラーの開発の見通しについては、回答社の 90%以上が開発継続の意欲があるとしている。また、開発継続のための要望としては、系統接続の見直し 28%、入札要件の見直し 26%、土地の規制緩和 24%、条件価格の引き上げ 20%となっているが、電力会社との系統接続契約に起因する問題と土地取得に関する問題に大別される。

### 第三項 風力発電

日本においては未だ発電量の少ない風力発電だが、世界的には再生可能エネルギーの主たる電源の一つである。一般社団法人日本風力発電協会（2018）<sup>80</sup>は、2017 年末における風力発電の導入量は 2,225 基、設備容量 340 万 kW としている。一方、世界における風力発電の発電容量は 5 億 3,958 万 kW となっており、中国が世界の累計発電容量の 35%を占めているのに対して、日本の発電量は 0.63%に過ぎない<sup>81</sup>。

資源エネルギー庁（2017）<sup>82</sup>は、日本の導入量は 2015 年時点で世界第 18 位であり、諸外国に比べ平地が少なく地形も複雑なこと、電力会社の系統に余力がない場合があること等の理由から、風力発電の設置が進みにくいといった事情があるとしている。また、出力の不安定な風力発電の大規模導入が、電力系統に及ぼす影響を緩和すべく、出力の安定化や系統の強化が課題となっているとしている。

一方、安田（2017）<sup>83</sup>は、電力広域的運営推進機関（OCCTO）で公開されている送電線運用容量データ及び実潮流データと、「地内基幹送電線運用容量・予

想潮流（実績）」及び「地内基幹潮流実績」データを用いて、日本の送電線が全国平均で19.4%しか利用されていないことを示した。そこで、資源エネルギー庁（2017）<sup>40</sup>では、再生可能エネルギーの中でも相対的にコストの低い風力発電の導入を推進するため、電力会社の系統受入容量の拡大や、広域的な運用による調整力の確保に向けた対策や、通常3～4年かかると想定される環境アセスメントの手続き期間を、概ね半減まで短縮することを目指した取り組みを行っている。

#### 第四項 バイオマス発電

バイオマスとは、バイオ（生物）＋マス（まとまった量）からなる合成語で、生物由来の物質の総称である。バイオマスエネルギーといった際には、化石燃料・資源を含まない、動植物に由来する有機物で、エネルギー源として利用可能なものをいう。特に植物由来のバイオマスは、大気中の二酸化炭素を吸収しながら成長するため、光合成で吸収したCO<sub>2</sub>＝燃焼時に排出するCO<sub>2</sub>とされることから、「カーボンニュートラル」なエネルギーとされる。原料の性状や取扱形態から大きく二種類に分けられる。すなわち、木材、林地残材（間伐材・被害木等）、製材等残材、藁籾殻類、資源作物、飼料作物、デンプン系作物等の未利用バイオマス、家畜糞尿、食品廃材、建設資材廃棄物、紙、製紙業における黒液、下水汚泥、生ごみ等の廃棄物系バイオマスである。固定価格買取制度を利用する場合には、原料の由来の証明が必要であり、林野庁（2012）<sup>84</sup>は、「発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン」において、木質バイオマス資源に対する識別・証明の運用方法を規定している。

##### 1) 木質バイオマス発電

林野庁（2015）<sup>85</sup>は、森林資源は人工林を中心に毎年約1億m<sup>3</sup>増加しており、現在の蓄積量は約49億m<sup>3</sup>で、木材の総需要量は年間7,400万m<sup>3</sup>程度あるとしている。そのうち、国産材利用量は2,100万m<sup>3</sup>程度で推移しており、自給率は2004年の18.5%からは2015年時点では若干上向き34.8%となっている。また、未利用間伐採等は毎年2,000万m<sup>3</sup>程度発生しているものの、ほとんど利用されていない。

資源エネルギー庁（2017）<sup>86</sup>は、「長期エネルギー需給見通し（エネルギーミックス）」（2015）<sup>87</sup>において、2030年度時点のバイオマス発電設備の容量を602万kW～728万kW（うち、木質バイオマス発電は274～400万kW）としているところ、2017年3月時点でバイオマス発電のFIT認定量が1,242万kWに達していることを明らかにしている。また、木質バイオマス発電の認定量が2017年9月時点で1,599万kWとなっており、すでにエネルギーミックスで想定した2030年度の導入水準の3倍を超える状況となっている。

林野庁（2016）<sup>88</sup>は、「森林・林業基本計画」において、2016年時点で200万m<sup>3</sup>であった木質バイオマスの燃料材を、2020年には600万m<sup>3</sup>、2025年には800万m<sup>3</sup>とする目標を立てている。しかし国産材については、林業従事者の減少と高齢化、間伐材等の搬出コスト、林道整備、所有者不明林地の扱い

等，問題は山積している。FIT 法においては，2018 年度より一般木材等とバイオマス液体燃料が区分された結果，一般木材等，バイオマス燃料，バイオマス由来メタン発酵ガス，間伐材等由来の木質バイオマス，建築資材廃棄物，一般廃棄物・その他のバイオマスに細分化された<sup>89</sup>。

## 2) バイオガス発電

資源エネルギー庁（2016）<sup>90</sup>は，バイオガス発電の 2030 年度における導入見込み量は 16 万 kW としている。2017 年 9 月時点でのバイオガス発電の FIT 導入件数は 121 件，出力は約 3.8 万 KW であり，2030 年時点での見込み量の約 24% という状況である。FIT 認定については，認定件数は 257 件，認定出力は約 10.3 万 kW であり，目標数値の達成のためには更なる導入の推進が必要な状況である。

バイオガス事業推進協議会（2017）<sup>91</sup>は，バイオガス発電事業の特徴として，プラント建設に，計画から地元合意，各種許認可，建設工事，完成までのリードタイムが長いことを挙げている。バイオガス発電プラントは，メタン発酵設備以外に，前段の発酵不適物を分別する前処理設備，メタン発酵後の消化液の液肥利用設備，消化液排水処理設備，脱臭設備等周辺設備の準備が必要であることも特徴である。バイオガス発生量の不安定さに起因する逆流対策等，電力会社より求められる系統接続における追加的費用やバイオガス施設の大きな課題であるメタン発酵を行った後の消化液処理についても，事業に含める必要があることを挙げている。

バイオガス発電はベースロード電源となりうる安定的な発電方法であり，有機性廃棄物の適正処理やコストの低減に資するとともに，高い GHG 削減効果を有する等の長所を有しており，自立分散型電源の構築，循環型社会の形成，及び地域振興に資する取組として，全国各地で注目が集まってきている。一方，我が国では燃料となる廃棄物・排泄物の運搬，貯蔵等の観点から，バイオガス製造プラントが個々の事業所近辺に設置されるため，欧米に比べると農場規模が小さい結果，発電事業規模が小さくなり経営効率が悪い。また，ガスの製造過程で硫酸を始めとする腐食性物質が発生することから，メンテナンスコストが想定以上にかかる，バイオガス製造プラントの耐用年数が短い等，採算性に課題を抱える発電所も多い。

## 第五項 中小水力発電

水力発電は，古くから利用されている再エネを利用した発電方式である。既に成熟技術であるためライフサイクルコストが安価であり，エネルギー変換効率が 80% と通常のランキンサイクル（Rankine Cycle≒蒸気サイクル）の 2 倍以上と高く，ライフサイクル CO<sub>2</sub> に優れ，太陽光発電や風力発電と比較して安定的に電力供給できるという優れた特徴がある。また，再エネ電源であるだけでなく，応答性が速い水力発電の特徴を活かした揚水発電により，太陽光，風力等のボラティリティーの高い再エネ電源のバッファー電源となりえることから，重要な電源と位置付けられる。一方，中小水力発電については未だ開発が



進んでいないため、ポテンシャルがある状況である。

一般水力及び揚水を含む全水力発電（中小水力発電を含む）の設備容量は、2010年度末で4,811万kW<sup>92</sup>だったが、FIT法施行以降中小水力発電も増加したため、2018年1月末時点で4,956万kW<sup>93</sup>となった。2030年のエネルギーミックスにおけるシナリオは、4,847～4,931万kWとなっており、中小水力発電の開発がそれほど進んでいるという状況ではないにも拘らず、すでに想定値以上の設備容量となっている。

小水力発電の定義については、各国あるいは機関によって異なり、明確な統一的な定義はない。C. Penche et al. (2005, ESHA)<sup>94</sup>は、ポルトガル、スペイン、アイルランド、ギリシャ、ベルギー、欧州小水力連盟（European Small Hydropower Association: ESHA）、欧州委員会（European Comitee: EC）、国際発送配電事業者連盟（International Union of Producers and Distributors of Electrical Energy: UNIPEDE）等では、1万kWまでの設備容量を小水力発電としている。我が国のFIT法においては、3万kW未満を固定価格買取制度の対象としており、新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法（1997）では、1,000kW以下を小水力発電と定義している。実際のFIT法では、200kW未満、1,000kW未満、5,000kW未満、30,000kW未満で買取価格の区分をしている<sup>95</sup>。

環境省（2011）<sup>96</sup>は、中小水力発電の国内賦存量を河川部で1,654.6万kW、農業用水路で32.5万kW、導入ポテンシャルについては、河川部で1,397.8万kW、農業用水路で29.9万kWと試算している。また、FIT法を想定した買取価格（15円/kW、20円/kW）、買取期間（15年、20年）、技術革新（50%の設備と20%の土木工事費のコストダウン）及びPIRR $\geq$ 8%をパラメータとして、4案のシナリオを設定したうえで、河川部で90万～406万kW、農業用水路で16万～24万kWの導入が可能と試算している。環境省のIRRの想定値は8%であるが、FIT法における調達価格算定委員会のIRRの想定値が5%であることを考慮すれば、導入可能容量がさらに増大すると推量される。

中小水力発電は、一旦稼働すれば低いランニングコストで発電することができるものの、流量・落差の実測の必要性、基礎調査段階における1年間の流況データの蓄積（実施段階では原則10年間程度のデータ）の必要性があり、河川法等により水利権の許認可手続きに時間を要し、河川等での工事や取水による周辺環境や生態系への影響を考慮する必要がある。また、発電設備以外に、取水～送水～放流のための土木工事による事業費の増加、特に、小水力発電では発電電力量あたり建設単価が高くなること、事業化に際しての地元との調整の必要性、水路を流れてくる木の枝・枯葉・ゴミ等の除去を含む維持管理の問題等、水と物理的な落差を利用する水力発電特有の導入阻害要因が従来から知られている。

また従来では、原子力発電所の夜間の余剰電力を吸収する仕組みとして採用されていた揚水発電が、太陽光発電における昼間のピーク電力を吸収する方法として注目されている。昼間あるいは余剰電力発生時に揚水運転を行い、夜間に水力発電を行うことで、再エネ発電のボラティリティーを吸収することがで

きる。揚水ロスとして 32%のエネルギーを消費するが、エネルギー変換効率が高く、発電単価が安価で、加えて CO<sub>2</sub>を一切発生しないことから、脱炭素社会においては価値の高い発電方式である。

#### 第六項 地熱発電

地熱発電とは、地表から地下深部に浸透した雨水、地表水等が地熱によって加熱され、高温の熱水・蒸気として貯えられている地熱貯留層から、坑井により地上に熱水・蒸気を取り出し、タービンを回して電気を起こす発電方式である（エネルギー白書 2017）<sup>97</sup>。燃焼させることなく地球の持つ熱を利用するため CO<sub>2</sub>の排出がなく、環境適合性に優れ、低廉で安定的な発電が可能なベースロード電源であるとされている。日本の地熱資源は、アメリカ、インドネシアに次いで世界第3位で、2,347万 kWを有するとされているものの、2015年度末には 52万 kW あった発電設備容量が 2018年1月には 46万 kW と一割以上も減少しており、地熱発電の難しさを象徴している。

また近年、オーガニックランキンサイクル（Organic Rankine Cycle：ORC）発電、あるいはバイナリー発電（Binary Power Generation）と呼ばれる低沸点（100℃以下）の媒体を利用する発電方法が注目を集めている。熱源としては、高温・高圧の熱水、水蒸気等ではなく、より低い温度（80～150℃前後）の温泉水、熱水等で発電が可能であるが、国内計画されているプロジェクトのほとんどは、発電規模が小さいため採算性の確保が容易ではない。

新エネルギー・産業技術開発機構（2017）<sup>98</sup>は、地熱発電の開発コストに関する課題として、リードタイムが通常 10年以上と長い、調査・開発段階で、多数の坑井を掘削する必要がある、熱源地が基幹送電線から離れた場所にある等の要因により資本的支出が大きくなることに加え、運転による坑井管内壁へのシリカスケールの付着から蒸気生産井や還元井の減衰を招き、追加的に補充井の掘削が必要となる等の点であるとしている。その他、正確な坑井掘削位置、地熱貯留層の把握の不確実性等の開発リスクや、熱源地の 80%以上が国立公園の特別保護地区・特別地域内に存在することによる、厳格な自然環境との調和が求められることが既知の課題として知られている。

#### 第四節 我が国の再生可能エネルギー主電源化への見通し

現在、2012年の FIT 法の施行から 6年目となるが、日本における再生エネルギー利用は進んでいるとはいえない状況である。第一に、政策的な位置づけが曖昧である。第三次エネルギー基本計画（2010）においては、①資源小国である我が国の実情を踏まえつつ、エネルギー安全保障を抜本的に強化するため、エネルギー自給率及び化石燃料の自主開発比率をそれぞれ倍増させ、これらにより、2030年の自主エネルギー比率を約 70%とする。②電源構成に占めるゼロ・エミッション電源（原子力及び再生可能エネルギー由来）の比率を 2030年に約 70%（2020年には約 50%以上）とする。③「暮らし」（家庭部門）のエ

エネルギー消費から発生する CO<sub>2</sub> を半減させる等、EUにおける政策や IPCC の報告書、IEA の提言を踏まえた内容となっており、エネルギーの内製化と脱炭素社会への積極的な姿勢が読み取れる。しかし、福島第一原発事故を教訓とすべき第四次エネルギー基本計画（2014）においては、原子力政策の再構築として、原子力発電の積極活用を柱とする計画に変更された。多くの世論調査により国民の過半数が再稼働に反対であった中で、この計画が進められたため、相対的に再生可能エネルギーの位置づけが曖昧となり、均等化発電原価（Levelized Cost Of Electricity: LCOE）の高さと出力のボラティリティの大きさが強調されることとなった。第五次エネルギー基本計画（2018）では、原子力発電の稼働割合は第四次エネルギー基本計画を踏襲しているものの、ようやく再生可能エネルギーの主力電源化が明記され、脱炭素社会への端緒が開かれたところである。

この間における電力網と電力システムの分散化とネットワーク化に対する業界の抵抗は大変大きいものであった。安田（2017）が明らかにした日本の送電線が全国平均で 19.4%しか利用されていないという事実は、G.Desvieux et al.（2015）が指摘する、日本企業の労働生産性と投資生産性の低さを象徴するものである。今後は、第五次エネルギー基本計画に沿った形で、電力系統の中立性が担保され、設備容量の合計ではなく、実潮流ベースに変更することにより電力網の空き容量を削減し、インフラの効率的な運用が進んでいくと思われる。

また、再生可能エネルギーのボラティリティの大きさに対して、需給調整市場の創設、稼働していない電力容量を買取る容量市場の導入、デマンドレスポンスによる需給調整、NAS 電池・レドックスフロー電池等の大型蓄電池、発電予測・需要予測技術の高度化、余剰再エネ電気による水素製造等、再生可能エネルギーの本格的な利用に対する準備が進められている。



## 第四章 ソーラーシェアリング発電の経営分析

本章においては，ソーラーシェアリング発電の事例について，現地調査を行い，実データに基づき経営モデルを構築し，経営分析をおこない，FIT 価格の低減による純利益推移のシミュレーションを行うとともに，優位性分析，国による施策の分析，脱炭素社会に対する貢献可能性分析，海外における展開事例の分析，および普及を妨げる要因分析を行なうことを目的としている。

### 第一節 ソーラーシェアリング発電とは

ソーラーシェアリング発電とは，光飽和点の特性により耕作地や牧草地の余剰の太陽光線から農業を守ると同時に，電力を得る発電方法である。長島(2014)<sup>99</sup>によるソーラーシェアリング発電のモデル図を図 4-1 に示す。ソーラーシェアリング発電において，太陽光パネルは地上 3.0～3.5m の高さに十分な間隔をもって設置される。ソーラーパネル単体は 1,000～1,500mm×500～700mm の細型で，発電設備による耕作地の遮光率は 20～32%となっている。表 4-1 に示す通り，多くの作物の光飽和点は 2 万ルクスから 5 万ルクス程度であるが，例えば 2014 年 5 月 5 日 12 時 40 分につくば市で計測された日向部分の明るさは 9 万 8,400 ルクス，パネルの影の部分では 2 万 4,500 ルクスであった。実際の遮光率は 3 割程度であり太陽の軌道とともに影も移動することから，農作物に必要な日照量が確保されると考えられる。

長島とは独立して，Fraunhofer 研究所太陽エネルギーシステムの A. Goetzberger, A.Saztrow (1981) は，「太陽エネルギー変換と植物栽培の共生について (On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation)」という論文を發表している。この論文が，世界で初めて太陽光を食料生産とエネルギー生産に複合的に利用することを目的とした論文であると思われる。基本的なコンセプトは長島と同じであるが，直接光と拡散光を計測し，地上の放射線がこの 2 つの合算エネルギーであるとしている (図 4-2)。

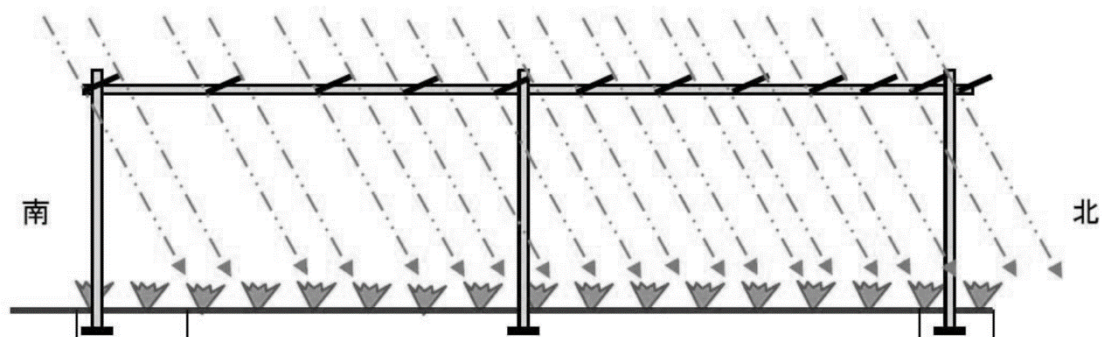


図 4-1 ソーラーシェアリング発電立面モデル図

source: 長島彬. 2013. 『ソーラーシェアリング導入における知見資料としての実証試験結果報告』. pp.2 より

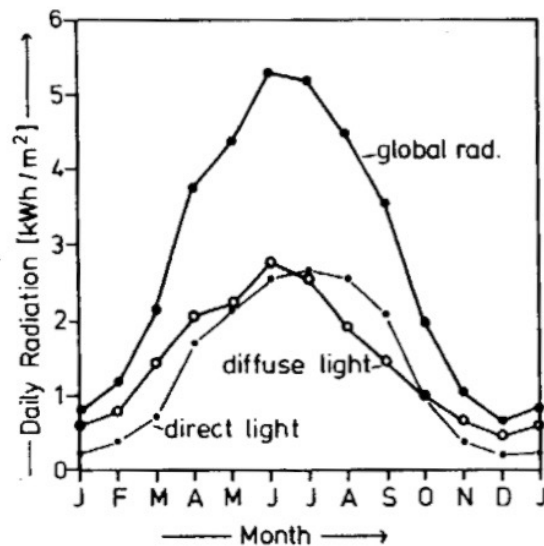
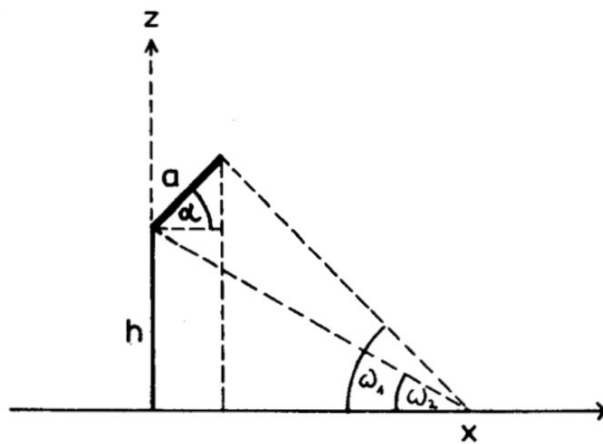
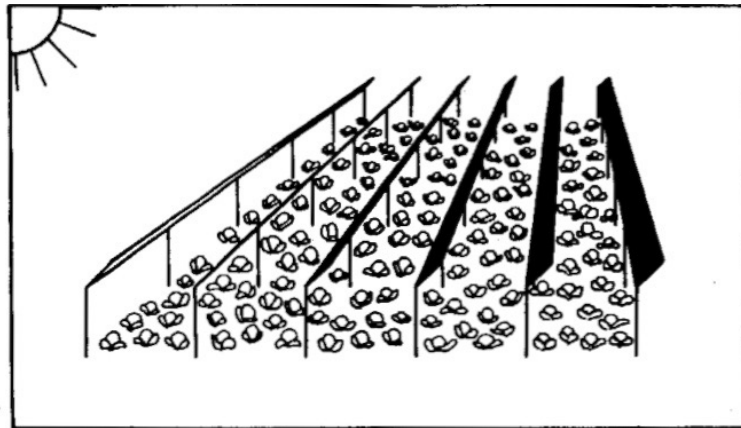


図 4-2 A. Goetzberger, A.Saztrow による高架収集フィールドのイラスト, 高さ  
と角度の算出及び直接光と拡散光のグラフ (1981)

Source: A. Goetzberger, A.Saztrow, 1982, "On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation", International J.Solar Energy, 1982, Vol.1,pp.55-69

表 4-1 各種植物の光飽和点・光補償点と太陽の照度

| 作物名        | 光飽和点 (klx) | 光補償点 (klx)   | 備考                            |
|------------|------------|--|-------------------------------|
| イネ         | 40~50      | 0.5~1.0  | Murata, 1961                  |
| オオムギ       | 50         | ---  | Takeda, 1978                  |
| ダイズ        | 20~25      | 1.0~1.5  | Bohning & Burnsaiide, 1956    |
| トウモロコシ     | 80~100     | 1.8  | Hesketh & Moss, Hesketh, 1963 |
| バレイショ      | 30         | ---  | Chapman & Loomis, 1953        |
| トマト        | 70         | ---  | Tatsumi & Hori, 1969          |
| ナス         | 40         | 2  |                               |
| メロン        | 55         | 0.4  |                               |
| エンドウ       | 40         | 2  |                               |
| ミツバ        | 20         | 1  |                               |
| レタス        | 25         | 1.5~2.0  |                               |
| キュウリ       | 55         | -  |                               |
| ブドウ        | 40         | 0.4  | (巨峰)                          |
| ブドウ        | 48         | 0.3  | (デラウェア)                       |
| モモ         | 40         | 0.2  | (白鳳)                          |
| ナシ         | 40         | 0.3  | (幸水)                          |
| オウトウ       | 40~60      | 0.4  |                               |
| イチジク       | 40         | 1  | (榊井ドーフィン)                     |
| セントポーリア    | 5~10       | 0.5  |                               |
| シンビジウム     | 10         | 0.3  |                               |
| シクラメン      | 15         | 0.3  |                               |
| 太陽光の状況     | 照度 (klx)   | 備考   |                               |
| 晴天昼太陽光     | 100        | 大阪市立科学館<br><a href="http://photon.sci-museum.kita.osaka.jp/publish/text/kyoyomi/66.html">http://photon.sci-museum.kita.osaka.jp/publish/text/kyoyomi/66.html</a> |                               |
| 晴天午前10時太陽光 | 65         |  |                               |
| 晴天午後3時太陽光  | 35         |  |                               |
| 曇天昼太陽光     | 32         |  |                               |

岩崎電気 Web サイト, IWASAKI テクニカルレポート Vol.14, 及び大阪市立科学館 Web サイトより筆者作成

## 第二節 現地調査

茨城県つくば市の T 発電所を現地調査した結果は, 以下の通りである。T 発電所は, ソーラーシェアリング発電設備の設計・施工を行う S 社が, データ取

集とソーラーシェアリング発電のため稼働させた実証実験設備かつ実稼働発電所である。あいにく、発電所を所有する会社は農業従事者ではないため、ソーラーシェアリング発電以前の収穫量との比較は出来ないものの、発電量や光量の変化や推移については詳細な記録が蓄積されており、ソーラーシェアリング発電の特性を確認する上で最適な発電設備である。

表 4-2 に T 発電所の施設概要を示す。T 発電所は、14.8a の土地の上部空間に太陽光パネルを設置した認可出力 50kW 未満の低圧接続の発電所で、2012 年度に設置認定を取得し、2013 年 10 月より売電を開始した。遮光率は 25.3% で、発電モジュールは 1,200mm × 540mm と一般的な太陽光パネルに比べ細長い形状をしており、下部の農地に太陽光が届くような配慮がされている。支柱ピッチは、南北 5m、東西 4.5m となっており、小型トラクターでの作業が可能である。また、パネルの設置高さも 3.5m となっており、大人が鍬を振り上げても太陽光パネルに接触しない十分な高さとなっている。

現地調査は以下の要領で行った。

期間：2014 年 3 月 17 日～2014 年 12 月 10 日(第 1 次調査)

2016 年 1 月 29 日～2016 年 6 月 2 日(第 2 次調査)

2017 年 2 月 15 日～2017 年 2 月 20 日(第 3 次調査)

場所：茨城県つくば市

方法：発電所の視察、関係者からのヒアリング、関連データの収集

表 4-2 T 発電所の施設概要

| 【T 発電所施設概要】    |   |
|----------------|---|
| 発電モジュール概要及び数量: | 単結晶 100W 中国製 実効変換効率 15.43% 579 枚            |
| モジュールサイズ:      | 1,200mm × 540mm × 35mm                      |
| パワーコンディショナー:   | 三相 3 線 200V 10kW 5 台                        |
| パネル接続:         | パネル 20 直列 × 6 系統 × パワーコンディショナー 4 台          |
| 契約容量:          | 10kW × 4 台 + 9.9kW × 1 台 = 49.9kW           |
| モジュール設置面積:     | 1,482 平方メートル                                |
| 支柱ピッチ:         | 南北 5,038mm 東西 4,536mm                       |
| モジュールピッチ:      | 南北 1,680mm(支柱 1 スパンに 3 列)                   |
|                | 東西 1,455～1,626mm(4.5m の単管パイプに 3 枚のモジュールを設置) |
| 角度調整:          | 調整装置により水平状態から最大 160 度可動                     |
| 運転開始日:         | 2013 年 10 月 15 日                            |

現地調査により筆者作成

ソーラーシェアリング発電において最も懸念される太陽光パネルにより生ずる日陰は、時間とともに移動し、実際には農作物はほぼ均一な日照量を得ることが現地調査より明らかになった。T 発電所では、ソーラーシェアリング発電の「下部の農地」と同一敷地内の太陽光パネルを設置していない場所で育成した作物を比較した場合、作物の収量低下は確認されず太陽光パネルによる農作



物への弊害は見られないとの話であった。

長島（2014）<sup>55</sup>は、夏場の過剰な蒸散作用を抑制し灌漑用水を節約できること、冬期間の放射冷却を緩和し地温の低下を防ぐことから融雪を促進すること、架台に防虫ネットを取り付けることで防除回数を低減できること、減農薬、有機農法に有利であること、日陰が生じることにより夏場における農作業が楽になること等、副次的な効果についても報告している。

表 4-3 に、筆者が聞き取り調査を行った設計時における発電量の予測値と 3 年間の売電の実績値を示す。NEDO の日照量データベースである MONSOLA-11、METPV-11<sup>100</sup>及び NEDO（2011）<sup>101</sup>が提供している検討支援ツールを使用して、太陽光パネル角度を固定した場合と最適角度に調整した場合の発電量が予測されている。この最適化により発電量が 4%向上することが分かる。

図 4-4 は、ソーラーシェアリング発電における支柱スパンと太陽光パネル設置位置を実際の作業との関係において示している。トラクターの車幅は、道路法において最大 2.5m 以下に制限されていることから、5m の支柱スパンはトラクターの作業においても支障はないと考えられる。図 4-5 は、ソーラーシェアリング発電の下部の農地における日陰の移動状況を示している。前述の通り、下部の農地の日向部分の明るさは 9 万 8,400 ルクス、パネルの影の部分は 2 万 4,500 ルクスである。下部の農地の日陰が太陽の移動に伴い、移動する様子が理解できる。

表 4-3 T 発電所の設計値（発電予測値）と実績値

| 年月       | 角度固定<br>(kWh/日) | 最適角発電<br>(kWh/日) | 検針月日        | 日数(dy) | 売電量(kWh) | 一日平均発<br>電量(kWh/<br>日) | パネル容量 | kW当たり1<br>日平均発電<br>量(kWh/kW) | 備考      |
|----------|-----------------|------------------|-------------|--------|----------|------------------------|-------|------------------------------|---------|
| 2013年11月 | 141             | 151              | 10/15-11/24 | 41     | 7,110    | 173.41                 | 57.90 | 3.00                         |         |
| 2013年12月 | 141             | 156              | 11/25-12/22 | 28     | 5,104    | 182.29                 | 57.90 | 3.15                         |         |
| 2014年1月  | 159             | 175              | 12/23-1/22  | 31     | 7,006    | 226.00                 | 57.90 | 3.90                         |         |
| 2014年2月  | 185             | 194              | 1/23-2/23   | 32     | 6,787    | 212.09                 | 57.90 | 3.66                         |         |
| 2014年3月  | 192             | 193              | 2/24-3/24   | 29     | 6,985    | 240.86                 | 57.90 | 4.16                         |         |
| 2014年4月  | 208             | 209              | 3/25-4/22   | 29     | 7,055    | 243.28                 | 57.90 | 4.20                         |         |
| 2014年5月  | 178             | 185              | 4/23-5/25   | 33     | 8,309    | 251.79                 | 57.90 | 4.35                         |         |
| 2014年6月  | 139             | 147              | 5/26-6/22   | 28     | 6,392    | 228.29                 | 57.90 | 3.94                         |         |
| 2014年7月  | 171             | 180              | 6/23-7/24   | 31     | 6,587    | 212.48                 | 57.90 | 3.67                         |         |
| 2014年8月  | 185             | 187              | 7/24-8/24   | 32     | 7,759    | 242.47                 | 57.90 | 4.19                         |         |
| 2014年9月  | 148             | 148              | 8/25-9/23   | 30     | 5,434    | 181.13                 | 57.90 | 3.13                         |         |
| 2014年10月 | 144             | 144              | 9/24-10/22  | 29     | 4,973    | 171.48                 | 57.90 | 2.96                         |         |
| 合計       | 1,991           | 2,069            |             | 373    | 79,501   | 213.14                 |       |                              | 平均値     |
| 補正值      | 165.9           | 172.4            |             | 365    | 77,796   | 213.14                 | 50.00 | 4.26                         | 365日で補正 |
| 2014年11月 | 141             | 151              | 10/23-11/20 | 29     | 5,414    | 186.69                 | 57.90 | 3.22                         |         |
| 2014年12月 | 141             | 156              | 11/21-12/21 | 31     | 5,254    | 169.48                 | 57.90 | 2.93                         |         |
| 2015年1月  | 159             | 175              | 12/22-1/21  | 31     | 6,974    | 224.97                 | 62.73 | 3.59                         |         |
| 2015年2月  | 185             | 194              | 1/22-2/22   | 32     | 7,565    | 236.41                 | 62.73 | 3.77                         |         |
| 2015年3月  | 192             | 193              | 2/23-3/22   | 28     | 5,830    | 208.21                 | 62.73 | 3.32                         |         |
| 2015年4月  | 208             | 209              | 3/23-4/22   | 31     | 6,743    | 217.52                 | 65.15 | 3.34                         |         |
| 2015年5月  | 178             | 185              | 4/23-5/24   | 32     | 9,765    | 305.16                 | 65.15 | 4.68                         |         |
| 2015年6月  | 139             | 147              | 5/25-6/22   | 29     | 6,628    | 228.55                 | 65.15 | 3.51                         |         |
| 2015年7月  | 171             | 180              | 6/23-7/22   | 29     | 6,401    | 220.72                 | 65.15 | 3.39                         |         |
| 2015年8月  | 185             | 187              | 7/23-8/23   | 32     | 8,419    | 263.09                 | 65.15 | 4.04                         |         |
| 2015年9月  | 148             | 148              | 8/24-9/23   | 31     | 4,780    | 154.19                 | 65.15 | 2.37                         |         |
| 2015年10月 | 144             | 144              | 9/24-10/22  | 29     | 6,128    | 211.31                 | 65.15 | 3.24                         |         |
| 合計       | 1,991           | 2,069            |             | 364    | 79,901   | 219.51                 |       |                              | 平均値     |
| 補正值      | 165.9           | 172.4            |             | 365    | 80,121   | 219.51                 | 50.00 | 4.39                         | 365日で補正 |
| 2015年11月 | 141             | 151              | 10/23-11/23 | 32     | 5,045    | 157.66                 | 65.15 | 2.42                         |         |
| 2015年12月 | 141             | 156              | 11/24-12/21 | 28     | 5,206    | 185.93                 | 65.15 | 2.85                         |         |
| 2016年1月  | 159             | 175              | 12/22-1/21  | 31     | 7,082    | 228.45                 | 65.15 | 3.51                         |         |
| 2016年2月  | 185             | 194              | 1/22-2/22   | 32     | 7,336    | 229.25                 | 65.15 | 3.52                         |         |
| 2016年3月  | 192             | 193              | 2/23-3/23   | 30     | 6,389    | 212.97                 | 65.15 | 3.27                         |         |
| 2016年4月  | 208             | 209              | 3/24-4/21   | 29     | 6,754    | 232.90                 | 65.15 | 3.58                         |         |
| 2016年5月  | 178             | 185              | 4/22-5/24   | 33     | 9,239    | 279.97                 | 65.15 | 4.30                         |         |
| 2016年6月  | 139             | 147              | 5/25-6/22   | 29     | 6,863    | 236.66                 | 65.15 | 3.63                         |         |
| 2016年7月  | 171             | 180              | 6/23-7/24   | 32     | 6,935    | 216.72                 | 65.15 | 3.33                         |         |
| 2016年8月  | 185             | 187              | 7/25-8/23   | 30     | 7,283    | 242.77                 | 65.15 | 3.73                         |         |
| 2016年9月  | 148             | 148              | 8/24-9/25   | 33     | 6,001    | 181.85                 | 65.15 | 2.79                         |         |
| 2016年10月 | 144             | 144              | 9/26-10/23  | 28     | 4,567    | 163.11                 | 65.15 | 2.50                         |         |
| 合計       | 1,991           | 2,069            |             | 367    | 78,700   | 214.44                 |       |                              | 平均値     |
| 補正值      | 165.9           | 172.4            |             | 365    | 78,271   | 214.44                 | 50.00 | 4.29                         | 365日で補正 |

(注1) 発電量設計値（予測値）は、NEDO 提供『大規模太陽光発電システム導入のための検討支援ツール』より算出

(注2) 実績値については T 発電所より提供

(注3) 補正值は 365 日稼働で換算した場合の数値

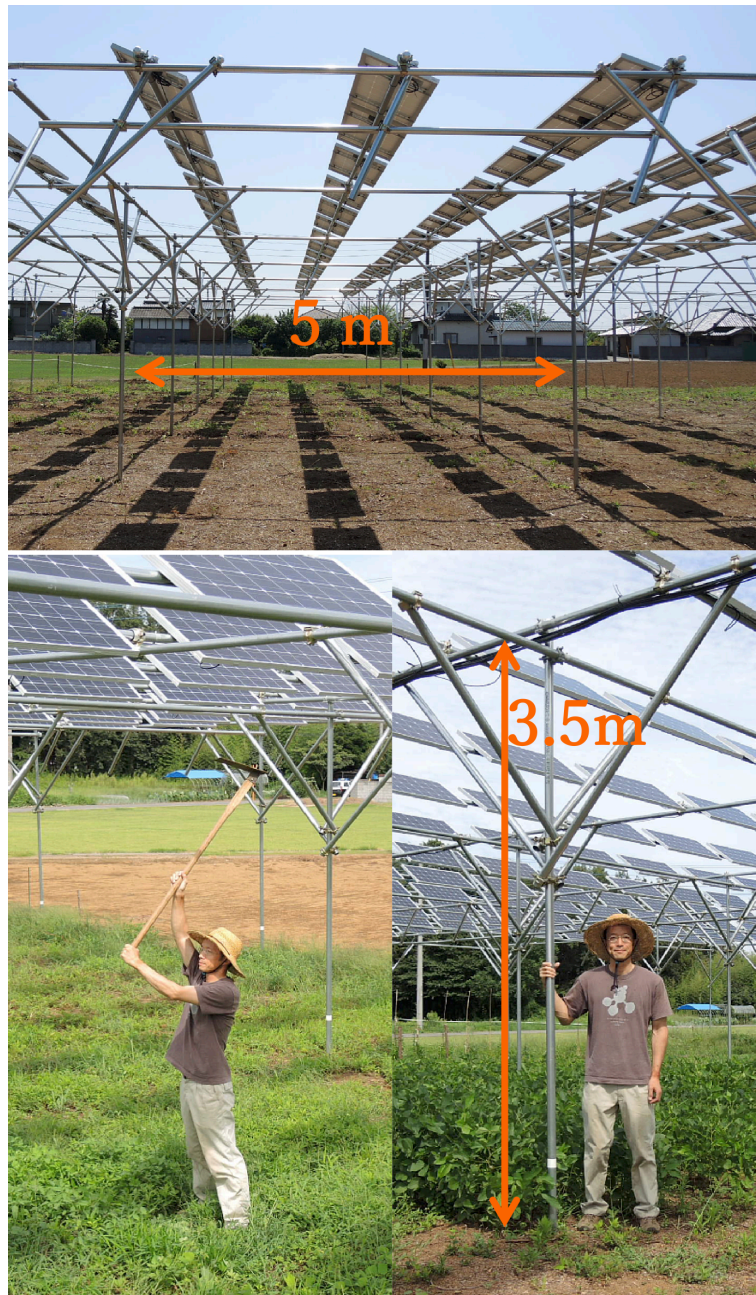


図 4-3 ソーラーシェアリング発電における支柱スパンと太陽光パネル設置位置  
ソーラーカルチャー株式会社提供データに筆者加筆

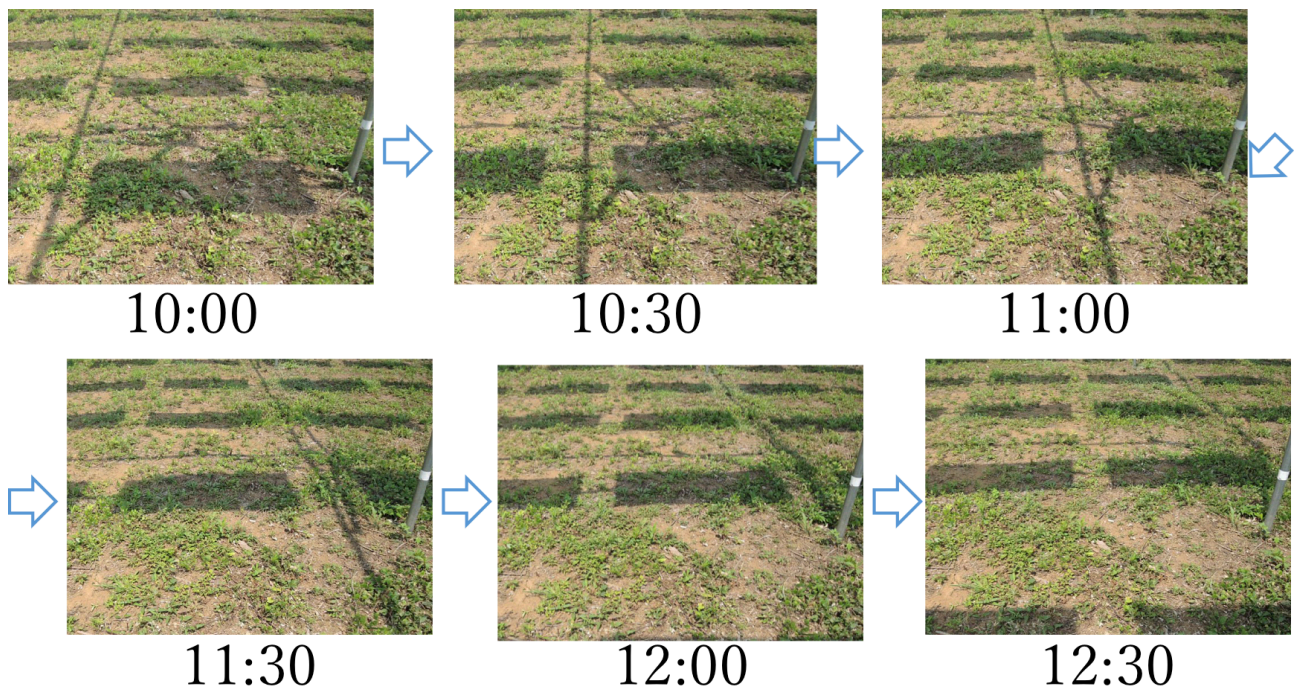


図 4-4 下部の農地における太陽の移動による日射の変化

Source: 2013年8月13日撮影 ソーラーカルチャー提供

T発電所の稼働1年目の発電量実績値は、NEDOのガイダンスに従った設計時の予測値を34.5%上回るものであった。これは、当該発電所に限ったことではなく全国的に見られる傾向である。理由としては、NEDOの斜面日射量データ（推計期間1981～2009年間）近年の実日射量より低いこと、太陽光発電セルの性能向上により、より大きな電力が得られるようになったこと、T発電所の特徴である角度の最適化による発電量の向上（4%）等によるものと考えられる。

### 第三節 ソーラーシェアリング発電の経営分析

#### 第一項 ソーラーシェアリング発電の経営モデル

ソーラーシェアリング発電によって得られる利益を評価するために、T発電所の設置面積（14.8a）における実設計データを元に、ソーラーシェアリング発電の経営モデルを構築した。

現地調査を行った T 発電所のシステム価格の内訳は、以下の通りである。T 発電所が建設された 2013 年時点でのシステムコストは 34 万 1 千円/kW で、kW 当たりの内訳は発電設備 17 万 2 千円（50.6%）、太陽光架台 3 万 5 千円（10.3%）、設置工事費 9 万 1 千円（26.9%）、電気工事費 4 万 3 千円（12.2%）であり、50kW（認可出力は 49.9kW）のソーラーシェアリング発電の総システムコストは 1,705 万円であった。資源エネルギー庁調達価格等算定委員会（2016）<sup>102</sup>の想定した 2013 年度のシステム価格は 37 万 7 千円/kW であり 3 万 6 千円/kW の価格差がある。これは T 発電所が、中間マージン等が発生しない自社施工のためと考えられる。

本研究では、現地調査の結果から得られたデータを元に発電モデルを構築し、各年度の資源エネルギー庁調達価格等算定委員会の数値をベースにそこから導き出されるシステム価格の低減率と買取価格の低下をシナリオとして、事業開始年度の違いによる収益性の推移を推計した。シミュレーションにおいては、できる限り現地調査のデータを活用するようにしたが、不足するデータについては代償的に他のデータソースからのものを援用した。

次に経常支出であるが、固定価格買取契約が 20 年間にわたるためすべての支出コストは 20 年で算出した。税金については、発電設備に掛かる固定資産税税率は 1.4%で、償却期間は 17 年である。撤去及び廃棄費用については、資産除去費として減価償却費に含めるものとした。廃棄等処理費用については、2030 年中長期価格目標で想定されている 5 千円/kW を採用した<sup>103</sup>。ちなみに太陽光パネルの中古市場買取価格は、7 千円/kW～1 万円/kW となっている。

さらに税金面では、再生エネルギー導入促進のための優遇措置が存在している。2017 年度末までは、『再生可能エネルギー発電設備に係る課税標準の特例措置』により、最初の 3 年について 1/3 の固定資産税が免除される。また、条件が合えば生産性向上設備投資促進税制、中小企業投資促進税制等により、50% あるいは全額の即時償却を利用することも可能であるが、本経営モデルには適用しないものとした。

事業に必要な資金については、全額借入れとし、スーパー L 資金（0.8%/年）で調達した場合の元利均等返済（年払い）による金利合計額を事業開始年度ごとに推計した。

農地価格については、国土交通省の土地総合情報システムより茨城県つくば市の 2013～2016 年間の 10a 以上の農地取引データ全 76 件を取り出し、その 10a 当たり農地取引価格の中央値である 65 万円を利用した。この価格を基にした農地の固定資産税の 20 年間の総額は 27 万円となる。

運転維持費用については、資源エネルギー庁調達価格等算定委員会の各年度

の資料から検討した。10kW から 50kW 未満の運転維持費用については、1 千円/kW (2013 年)、3 千円/kW (2014 年)、4 千円/kW (2015 年)、5 千円/kW (2016 年) 等、年度により変動がある。資源エネルギー庁 (2016)<sup>104</sup>は、当初得られたデータが固定価格買取制度開始後に運転開始したもので設置年数が浅いことから、点検費用や交換費用が発生しておらず、過小となっているとしている。経済産業省では、発電所の運用状況についても報告を義務付けていることから、稼働件数の増加した 2016 年での運転維持費用が実勢価格に近いものであると考えられる。2017 年度の運転維持必要想定値が 5 千円/kW 年 (全体) であることから、20 年間の総運転維持費用は 499 万円と推計した。

一方、売電収入は、発電量に買取価格を乗じることで算出される。実績に基づく初年度年間発電量は、7 万 7,796kWh であった。但し、太陽光パネルの発電効率の劣化を 0.5%/年とし、20 年間の平均発電量を 7 万 4,209kW/年とした。

## 第二項 買取価格引き下げとシステム費用低減が純利益に及ぼす影響

表 4-4 には、2013 年の「農地のみなし転用許可」以降の買取価格、システム価格、運転維持費用の推移と設置時期の違いによる農地における 50kW のソーラーシェアリング発電の事業収支の推移が示されている。固定価格買取制度における買取価格は調達価格等算定委員会により毎年検討される。調達価格等算定委員会 (2016)<sup>57</sup>は、太陽光モジュールを始めとする必要資材の市場価格と、運用報告書による実勢価格を調査した上で、システム価格単価、運転維持費用等の算定をおこなっている。

資源エネルギー庁 (2016) は、「2015 年 6 月末に、FIT 法の規定 (法附則第 7 条) に基づく 3 年間の「利潤配慮期間」が終了した。各再生可能エネルギーの供給の量を勘案し、2016 年度の調達価格の決定に当たっては、十分な FIT 認定・導入が進んでいる太陽光についてのみ IRR を 6 % から 5 % に引き下げた<sup>105</sup>」としており、再生可能エネルギーの促進については国が内部収益率についても決定を行っている。

表 4-4 ソーラーシェアリング発電の収支推計結果

|          |             |                   | 調査時点    | 2013    | 2014    | 2015    | 2016    | 2017    | 備考  |
|----------|-------------|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|
| 設備仕様     | 1反面積        | m <sup>2</sup>    |         | 1,482   |         |         |         |         |     |
|          | 面積当たり発電量    | kW/m <sup>2</sup> |         | 0.135   |         |         |         |         |     |
|          | 遮光率         | %                 |         | 25      |         |         |         |         |     |
|          | 発電容量        | kW                |         | 49.9    |         |         |         |         |     |
| 事業コスト    | システム価格低下率   | %                 | —       | 100.0%  | 91.0%   | 85.4%   | 83.8%   | 79.6%   |     |
|          | 調整後システム価格単価 | 万円/kW             | 34.1    | 34.1    | 31.0    | 29.1    | 28.6    | 27.1    | ※1  |
|          | 設備コスト       | 万円                | 1,701   | 1,701   | 1,547   | 1,452   | 1,425   | 1,353   |     |
|          | 減価償却率(定率法)  |                   |         | 0.118   |         |         |         |         | ※2  |
|          | 固定資産税率      | %                 |         | 1.4     |         |         |         |         |     |
|          | 固定資産税(20年)  | 万円                | 130.7   | 130.7   | 119.1   | 111.9   | 109.9   | 104.4   | ※3  |
|          | 金利(スーパーL資金) | %                 |         | 0.8     |         |         |         |         | ※4  |
|          | 金利負担(20年)   | 万円                | 148.7   | 148.7   | 135.5   | 127.3   | 125.0   | 118.8   | ※5  |
|          | 農地価格        | 万円                | —       | 96.3    |         |         |         |         | ※6  |
|          | 固定資産税率      | %                 |         | 1.4     |         |         |         |         | ※7  |
|          | 固定資産税(20年)  | 万円                | 539.1   | 27.0    |         |         |         |         |     |
|          | 運転維持費用(20年) | 万円                |         | 499.0   |         |         |         |         | ※8  |
|          | 総コスト(20年)   | 万円                | 2,869.3 | 2,505.9 | 2,327.7 | 2,217.7 | 2,186.2 | 2,102.3 |     |
| 年間平均コスト  | 万円          | 143.5             | 125.3   | 116.4   | 110.9   | 109.3   | 105.1   |         |     |
| 発電収入関連項目 | 総発電量(20年)   | 万kWh              |         | 148.4   |         |         |         |         | ※9  |
|          | 年間平均発電量     | kWh/年             |         | 74,209  |         |         |         |         |     |
|          | FIT買取価格     | 円/kWh             | 40      | 36      | 32      | 29      | 24      | 21      | ※10 |
|          | 年間平均売電収入    | 万円                | 296.8   | 267.2   | 237.5   | 215.2   | 178.1   | 155.8   |     |
|          | 発電単価        | 円/kWh             | 19.3    | 16.9    | 15.7    | 14.9    | 14.7    | 14.2    |     |
|          | 年間平均純利益     | 万円                | 153.4   | 141.9   | 121.1   | 104.3   | 68.8    | 50.7    |     |

(注1) 筆者推計値

(脚注)

※1 現地調査の数値は調査時点のものを記載，各年度の数値については，現地調査をベースに2018(H30)年2月7日資源エネルギー庁調達価格等算定委員会資料よりシステム価格低減率を乗じて算出

※2 「減価償却資産の耐用年数等に関する省令」別表第二機械及び装置の耐用年数表より17年定率法で算出

撤去費用については，2030年の中長期価格目標で想定されている廃棄等処理費用5千円/kWhを採用し，資産取得費に撤去費用を加えたものを最初の期首帳簿価額として計上

※3 経済産業省 再生可能エネルギー発電設備に係る課税標準の特例措置(2017年度末まで)により最初3年間は固定資産税を2/3に減ずる

※4 日本政策金融公庫 農業経営基盤強化資金(スーパーL資金)"

- ※5 元利均等年払いにて算出
- ※6 国土交通省土地総合情報システムより茨城県つくば市の2013年～2016年の10a以上の農地取引データ全76件より中央値を算出
- ※7 農林水産省「農地の保有に関する税金（固定資産税）」
- ※8 2018(H30)年2月7日資源エネルギー庁調達価格等算定委員会資料より2017年度想定値を採用
- ※9 NEDO日照量データベース（土浦）と現地調査により算出
- ※10 各年度資源エネルギー庁調達価格等算定委員会資料より抜粋

2013年から2017年の純利益推移のシミュレーションを行った結果は、以下の通りである。世界的な太陽光発電の普及を受け、イニシャルコストであるソーラーシェアリング発電のシステム価格は大幅に低下した。2013年のシステム価格を100%とした場合、2017年では79.6%まで低下している。これに伴い、総コストは2,505万円（2013年）から2,102万円（2017年）へと16.1%低減することが推計された。

事業開始年度の違いにより固定買取価格が36円/kWh（2013年）から21円/kWh（2017年）へと低下するため、年間平均売電収入は267万2千円（2013年）から155万8千円（2017年）へと41.7%減少する。このため2013年の年間平均純利益が141万9千円であるのに対して、2017年では50万7千円となった。この純利益の低下は主に買取価格の引き下げによるものであるが、一定の純利益が確保されているのは、ここ数年の世界的な太陽光モジュールの価格下落によるシステム価格の低減が作用している。図4-4に示すように、システム価格を2013年の水準に固定した場合、2017年に事業を開始した場合の平均年間純利益は30万5千円まで下落する。



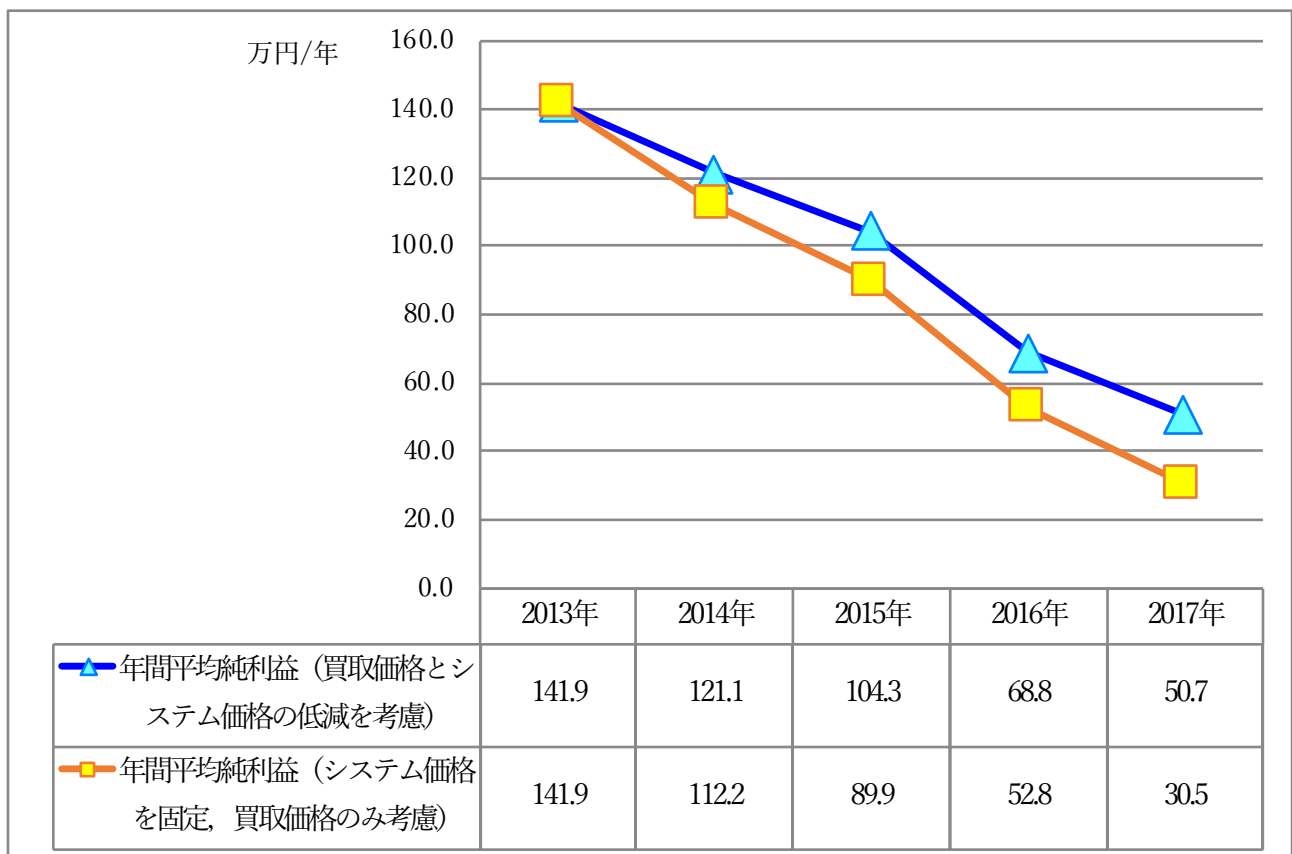


図 4-5 農地におけるソーラーシェアリング発電の  
年間平均純利益推計結果の推移

表 4-4 「ソーラーシェアリング発電の収支推計結果」より筆者作成

ソーラーシェアリング発電は、食料生産とエネルギー生産を単一の土地で行なうため、土地の生産性の指標である土地等価比率（Land Equivalent Ratios : LER）を飛躍的に向上させる。経済的には、営農と併せるのであれば農家所得に対して安定的なメリットをもたらすと考えられる。また、S.Weckend et al.（2016）<sup>106</sup>は、太陽光発電所の耐用年数を30～40年としており、ライフサイクルコストの点からも長期にわたり農家所得に寄与することが期待できる。

農林水産省（2007）<sup>107</sup>によると、主な路地野菜の10a当たりの純収益は最も高いナスが122万6千円、最も低いダイコンでは14万円となっている。農林水産省（2018）の調査<sup>108</sup>から、10aの農地であっても遮光率を35%程度にすることで、50kWのソーラーシェアリング発電を行なうことが可能であることが明らかになっている。すなわち、2013年の平均年間純利益が141万9千円、2017年では50万7千円となり、ニンジン15万4千円、青ネギ50万4千円、キュウリ118万5千円、ピーマン89万5千円等、他の農産物と比較しても、ソーラーシェアリング発電による年間純利益は依然として一定水準の収益をもたらすことが分かる。

### 第三項 買取価格の低下とソーラーシェアリング発電の優位性

太陽光発電の買取価格は、2012年の固定価格買取制度の施行以来、2012年は40円/kWh（以下、すべて税抜き）、2013年は36円/kWh、2014年は32円/kWh、2015年は29円/kWh（2015年7月1日以降は27円/kWh）、2016年は24円/kWh、2017年は21円/kWhと毎年低下してきた。2017年時の買取価格は、世界的な太陽光発電の普及によるソーラーパネルの価格低下を反映して、固定価格買取制度施行当初と比べると4割以上低下し、21円/kWhとなっている。

国際再生可能エネルギー機関（International Renewable Energy Agency: IRENA）（2015）<sup>109</sup>は、太陽光発電の均等化発電原価（Levelized Cost Of Electricity: LCOE）が2011年から2014年の4年間で50%低下していること、太陽光発電原価がすでに4.5～14セント/kWh（110円/ドルで、5.0～15.4円/kWh）の化石燃料発電の価格帯にあること、すでに補助金なしで売電単価8セント/kWh（110円/ドルで、8.8円/kWh）のメガソーラー発電所が稼働する事実を報告している。調達価格等算定委員会（2016）<sup>110</sup>は、日本の太陽光発電所のコストが諸外国の約2倍することを指摘しており、これからも太陽光モジュールのコストダウンに伴い、買取価格の下落が続くものと考えられる。因みに、LCOEは以下の式で求められる。

$$LCOE_t = \frac{CAPEX + \sum_{t=1}^n OPEX(t) / (1 + WACC_{Nom})^t P}{\sum_{t=1}^n Utilization_0 \cdot (1 - Degradation)^t / (1 + WACC_{Real})^t P}$$

t = 時間（年）

n = システムの経済的寿命（年）

CAPEX = t = 0でのシステムの総投資支出（円/kWp）

OPEX (t) = t年における運用・維持管理費（円/kWp）

WACC Nom = 名目加重平均資本コスト（年額）

WACC Real = 実際の加重平均資本コスト（年額）

Utilization<sub>0</sub> = 劣化のない年0における初期年間利用率（単位 kWh / kWp）

劣化 = システムの名目出力の年間劣化（年間）

WACC Real = (1 + WACC Nom) / (1 + インフレ) - 1

（注1）kWp（キロワットピーク）は、太陽光パネルの出力（ピーク出力）を表す

（注2）ここでのインフレ率は年間インフレ率である

この式からできるできる通り、LCOEの低減にはCAPEX、OPEXの低減が必要であるが、OPEXについては極端なコストダウンは困難である。一方、CAPEXについては上述のとおり、半導体である太陽光モジュールは今後も継

統的な価格低減が見込まれることから、将来的にも低下すると考えられる。さらに、ソーラーシェアリング発電においては、基本的に土地取得費用が発生しない、或いは土地利用に関する費用が低廉であることから、この点においてもCAPEX低減に対して有利に働く。また、CAPEXが小さいことは、結果的にWACCが圧縮されることを意味することから、ソーラーシェアリング発電は一般的な太陽光発電と比べて、LCOEにおいて大きな優位性を有している。

本研究における平均発電原価は、たった14.8aの農地であってもメガソーラーの発電原価より低い14.2円/kWh（2017年）となっており、21円/kWhの買取価格であっても収益が見込まれる。一般的な太陽光発電と比べて土地取得費用や造成費用が発生せず、土地に関わる固定資産税が安いソーラーシェアリング発電のコスト優位性は今後も変わることがないと考えられる。上述のパネル価格の下落と相まって、政策的支援によりソーラーシェアリング発電が普及するにつれ、工事を含む設備価格全体が低減するために、発電原価は更に低くなると予測される。

#### 第四項 農林水産省による新たな施策

農林水産省（2018）<sup>111</sup>は、営農型発電設備に対する農地転用許可上の取扱いについて、みなし転用の許可期間を3年から10年に延長する変更を行った。背景としては、営農型太陽光発電の下部農地での農業生産や地域の農業の持続的な発展が図られるよう、農業政策の一環として位置付けさらに推進すること、担い手の収入が拡大することで農業経営のさらなる規模拡大等を期待すること、荒廃農地が増加する中で営農型発電設備を活用した荒廃農地の再生を期待すること等を改正の理由としている。改正に際しては、2016年3月末までに許可を行った775件について営農状況等を調査を行い、①下部農地での営農への支障があった事例の発生割合は担い手が営農するものは6%、担い手以外が営農するものは31%であること、②荒廃農地を活用して営農型太陽光発電設備を設置したものが234件で全体の約30%であったこと、③下部農地における遮光率は低いものから高いものまで様々であったことを明らかにした。

図4-6から、ソーラーシェアリング発電の下部の農地の面積は1,000m<sup>2</sup>以下が490件と一番多く、65%を占めている。続いては、1,000m<sup>2</sup>超～3,000m<sup>2</sup>以下が178件（24%）となっており、3,000m<sup>2</sup>以下が89%を占めていることから、個人の農家による発電が大部分を占めると推量される。一方、5,000m<sup>2</sup>超と10,000m<sup>2</sup>超を合わせると、60件（8%）あることが確認される。これらの大型ソーラーシェアリング発電の資金調達額は8千万円～100億円以上となっていることから、食料生産とエネルギー生産を複合させた新たなビジネスモデルが誕生しつつあることが推量される。

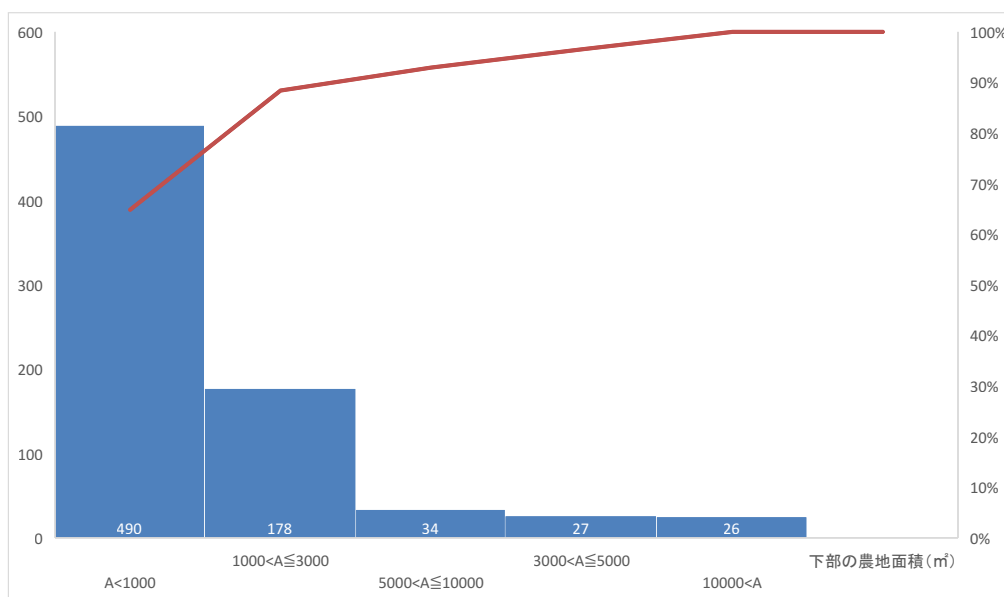


図 4-6 ソーラーシェアリング発電における下部の農地の面積の分布  
農林水産省，2018，「営農型発電設備の現状について」，より筆者作成

脚注：

左軸：営農が発電設備の数（件），右軸：割合（％），横軸：下部の農地面積（㎡）

この調査結果を踏まえ，農林水産省は，①担い手が所有している農地又は利用権等を設定している農地で当該担い手が下部農地で営農を行う場合，②農用地区域内を含め荒廃農地を活用する場合，③農用地区域以外の第2種農地又は第3種農地を活用する場合について，みなし転用期間を10年に改正する旨を通知した。

調査の結果，ソーラーシェアリング発電の遮光率は，特許権者である長島氏の設定である25%から32%の範囲ではなく，40%から50%台が中心であり，30%台と60%台が続くことが分かった（図4-7）。また，遮光率30%以下の事例は全体の2割に満たないことが報告された。さらに，ソーラーシェアリング発電の営農に対する影響については，担い手が営農を行っている場合の不具合が6%であるのに対して，担い手以外が営農を行なった際の不具合は31%に上ることも明らかにしている。この結果から考えられることは，①担い手が下部の農地において営農を続けることが望ましいこと，②売電売上と収穫のバランスを考えた場合に，遮光率が40%程度でも収穫量の問題がないことを示していると考えられる。

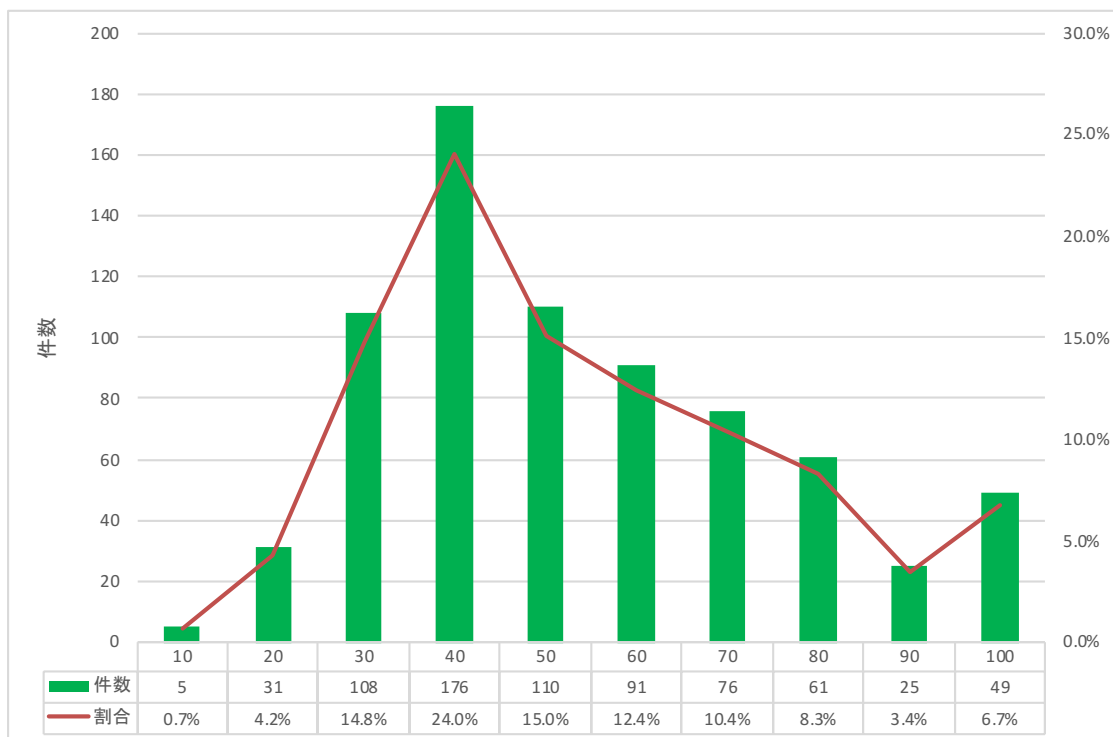


図 4-7 ソーラーシェアリング発電における遮光率の分布  
農林水産省，2018，「営農型発電設備の現状について」，より筆者作成

### 第五項 脱炭素社会に対する貢献

太陽光発電を含む再エネによる発電は、炭素を排出しない発電方式である。通常の原子力発電を含む汽力発電やガスタービンが投入エネルギーの30%から40%程度しか電力として利用できないが、太陽光と風力はエネルギーコストがフリーであり、CO<sub>2</sub>の排出量がゼロであることからCO<sub>2</sub>排出量削減の観点からは圧倒的に優れている。

経済産業省（2015）<sup>112</sup>は、我が国の2030年度における火力発電における平均の電力CO<sub>2</sub>排出係数を0.66kg-CO<sub>2</sub>/kWhとしている。従って、50kWのソーラーシェアリング発電の年間CO<sub>2</sub>削減量は、

$$\begin{aligned} \text{年間CO}_2\text{削減量} &= \text{年間発電量 (kWh/年)} \times \text{電力排出係数 (kg CO}_2\text{/kWh)} \\ &= 48,978\text{kg CO}_2\text{/年} \end{aligned}$$

となる。

各農業経営体が100kWのソーラーシェアリング発電をおこなったと仮定すると、発電容量は1億2,580万kWとなり、総排出量12億トンCO<sub>2</sub>（2016）の10.2%、発電部門CO<sub>2</sub>排出量の30%に相当する。また、農林水産省（2017）<sup>113</sup>は、耕作放棄地を42.3万haとしており、今後も増えるものと推測される。仮に耕作放棄地に、10aあたり50kWのソーラーシェアリング発電を設置した場合は、年間発電量は3,140億kWhとなり、CO<sub>2</sub>削減量は2億7百万tCO<sub>2</sub>/年となる。

## 第六項 海外におけるソーラーシェアリングの普及

ソーラーシェアリング発電は、すでに海外でも実施され始めている。

### フランス

フランスでは、C.Dupraz et al. (2011)<sup>114</sup>が、「土地利用最適化のために太陽光発電パネルと食料作物を組み合わせる」という論文において、農林複合経営 (Agroforestry) をヒントに、同一の土地でエネルギー生産と食料生産を組み合わせる「農業電力 (Agrivoltaic)」を提唱している。パイロットプラントの設置場所は、北緯 43.6° のフランス、モンペラで、2010 年、820 m<sup>2</sup> (44.8m×18.3m) の土地に、高さ 4m の場所 (支柱間隔は 6.4m) に、1.58m×0.8m 太陽光モジュールを設置し、遮光率や太陽放射線遮蔽度の違いによる収穫量の比較をおこなっている (図 4-8)。図 4-9 に、木製架台に設置された太陽光パネル及びトラクター作業を行なう実験設備の様子を示す。条件により、収穫量は 19%~8% の低減を示すが、混作システムの価値を評価するために使用される土地の生産性の指標である土地等価比率 (Land Equivalent Ratios : LER) は、太陽光パネルの最適化が重要としながらも、60~70% の向上が認められるとしている。

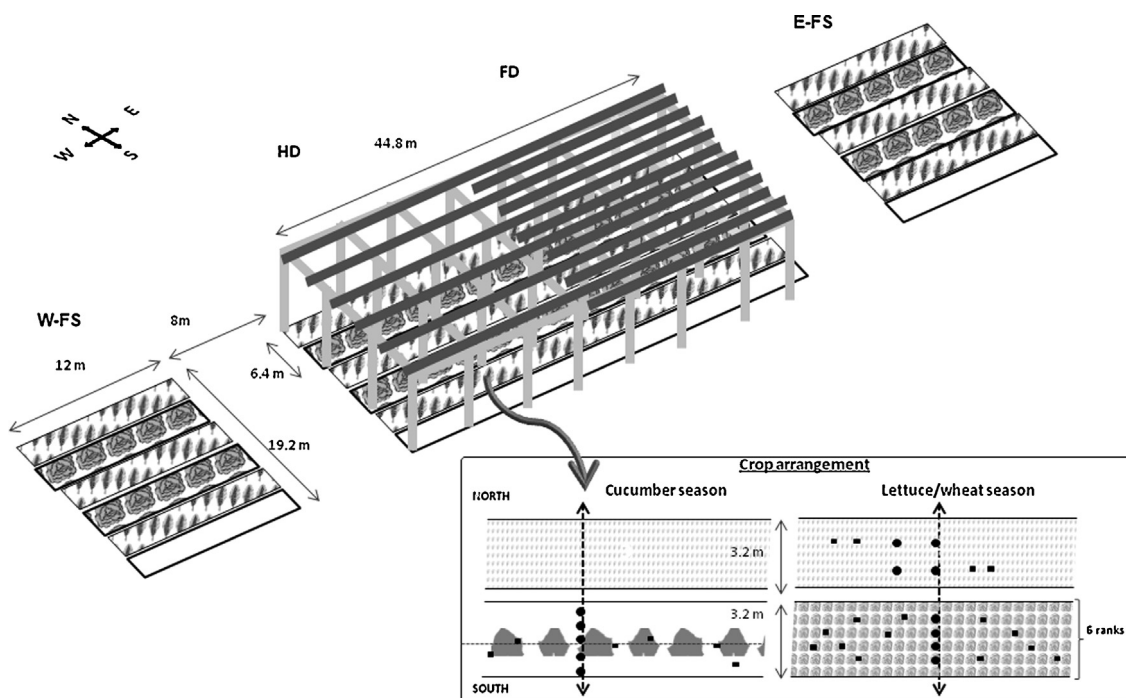


図 4-8 Agrivoltaic 実験設備のレイアウト

Source: H. Marroua,b,\*, L. Guilionis, L. Dufoura, C. Dupraza, J. Weryd,  
 “Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected  
 in the partial shade of solar panels?”

Credit: INRA, UMR SYSTEM, 2 place Viala, 34060 Montpellier, France



図 4-9 モンペラ大学（仏）の Agrivoltaic 実験設備の様子  
Source: C. Dupraz, “From Agroforestry to Agrivoltaism :scientific evidence for the unexpectedly high productivity of new dual systems”

## 2) ドイツ

ドイツでは、2016年よりフラウンホーファー太陽エネルギーシステム研究所 ISE が、ボーデン湖畔の Demeter 農協、hohenheim 大学と共同で、1ha の農地において農業太陽光（Agrophotovoltaics：APV）パイロットプロジェクトを実施している。地上 5m の高さに 720 枚の両面太陽光モジュールを合計 194kW を設置している。収穫量の変化を比べたところ、クローバーグラスは 5.3%、ジャガイモ、小麦、セロニアックについては、18～19%の収穫量の低下が確認された。また、最初の 12 ヶ月の発電量は、太陽光モジュール 1kW 当たり 1,266kWh/kW で、雪の反射光による発電量が 25%になることなど、ドイツの平均値である 950kWh/kW を 33%上回った。発電量の 40%は EV への充電と農作業に消費され、夏場の負荷はほぼ APV によりカバーされた。同一の土地から 80%の収穫と 80%の発電を得ることで、土地の利用効率を 60%高めるとしている<sup>115</sup>。図 4-10 に、大型トラクターを使った農地整備の様子と太陽光パネル設置の様子を示す。







図 4-10 ヘッゲルバッハ（独）の Agrophotovoltaic 実験設備の様子  
Source: University of Hohenheim, 2017, APV-RESOLA Project

### 3) イタリア

イタリアでは、農業電力技術（Agrovoltaico Technology）として、一軸及び二軸の太陽追尾型ソーラーシステムが農業用として販売されている。ミラノの南東に位置する Monticelli d'Ongina（モンティチェッリ・ドンジーナ）の 21ha の農地の約 5m の高さに 10MW の自動太陽光追尾型ソーラーシステムを設置している。同システムは、無線により制御され、大型トラクターの走行が可能な広いスパンを有している<sup>116</sup>。図 4-11 は、Virgilio と Castelvetro の設置状況を示している。



図 4-11 Agrovoltaico2 軸追尾型システム

上: Virgilio (2.15MWp) , 下: Castelvetro (1.293MWp)

Source: <http://www.remtec.energy/agrovoltaico>

#### 4) イギリス

イギリスでは、ソーラーファーム (Solar Farm) という名称で、農業分野における太陽光発電のプロモーションが行われている<sup>117</sup>。ソーラーファームの承認を得るには、サイトの適性 (太陽光を利用する場所として有益な場所なのか)、地元への潜在的な影響 (生態学的および社会経済的要因を考慮し、ソーラーファームの存在自体が環境に悪影響がないか)、関連する再生可能エネ

ルギーの目標等，一連の厳格な計画手順を実行する必要がある。農地利用に対する制約は，日本に比べると少なく，パネルの下の地面は，動物を放牧したり，草や野生の花を育てたりするためにも使用できる（図 4-12 上）。羊の放牧や養殖などの既存の農業活動と日常的に太陽光発電を組み合わせしており，予想外の気象が作物のリスクを増大させるため，太陽光発電は農家の収入を安定させるのに役立つと考えられている。通常，ソーラーファームは大規模な地域の土地を占有するため，農村部で開発されている。

また政府は，Renewable Obligation Certificates（ROC）という政策で，農村における中小規模の再生可能エネルギーの生産を促進している<sup>118</sup>。余剰電力買い取りを前提に，発電 kWh 当たり  $2ROC=7.8$  ペンス（2015 年 9 月末までは  $3ROC$ ）が支払われる。この ROC の削減により，小売電力価格 > 売電価格（小売価格の約  $1/3$ ）であるため，農場での自家消費のほうが投資を早く回収できる設定となっている。この場合，設置場所は農地に限定されておらず，建物などでも良く，日本の営農型発電のように下部の農地の作物の収穫量の変動に対する制約もない（図 4-12 下）。



図 4-12 英国 Solar Farm の様子

Source: BRE National Solar Center, 2014, “Agricultural Good Practice Guidance for Solar Farms”

## 5) モンゴル

モンゴル国では、首都ウランバートル北部のダルハン市において、2017年12月、29.1万 ha の農地に 10MW のソーラーシェアリング発電が完成し、稼働している（図 4-13）。年間の発電量は約 1,600 万 kWh で、CO<sub>2</sub>削減量は 15.67MtCO<sub>2</sub>/年である。現地法人である E 社へのインタビューにより、石炭による大気汚染が深刻なモンゴルにおいては再エネへの移行が求められていること、農地で野菜を栽培することで首都ウランバートル市へ新鮮な野菜の供給が可能になること、モンゴル国の FIT 法（2007）により、モンゴル国営配電会社から 25 年間にわたり円換算で年間約 2.88 億円の売電収入があること、さらに 10MW の増設計画があること等が明らかになった。ただし、モンゴルにおける電力のピークは、19:00～22:00 であり、電力系統も脆弱であることから、モンゴル国としては 2030 年に再エネ 30% の目標を掲げているものの、これ以上の再エネ導入が困難であり、水力発電等の応答性の高いバッファー電源あるいは蓄電池などの設備導入が必要とのことであった。

本発電事業は、環境省が実施する「二国間クレジット制度（Joint Credit Mechanism: JCM）に基づく設備補助事業」の認定を受けている。つまり、本事業における CO<sub>2</sub>削減量は、日本の排出削減量として計上される。この見返りとして、事業者は補助対象経費の 1/2 を上限とする補助を受けることとなる<sup>119</sup>。資金調達については、国際協力銀行（Japan Bank for International Cooperation: JBIC）が E 社（モンゴル国）に対して 8,5 百万ドルを上限とする貸付契約を行ない、東和銀行との協調融資により総額 1 千 210 万ドルを事業資金として融資している<sup>120</sup>。



図 4-13 ダルハン 10MW ソーラーシェアリング発電所（モンゴル国）

Source: 外務省, 2017, 在モンゴル日本大使館

## 6) ケニア

ケニア共和国では、2015 年に国立ジョモ・ケニヤッタ農工大学が日本の J 社と共同でソーラーシェアリング発電の研究開発協定を締結している<sup>121</sup>。

## 7) アメリカ

米国においては、ソーラーシェアリング発電は、2011年よりノースカロライナ州において、ソーラーダブルクロッピング（Solar Double Cropping）として行われている。設備容量は92.16kWで、陰性植物の栽培を行っている<sup>122</sup>。

## 8) インド

インドにおいては、貧困を軽減する農業用オフグリッド太陽光発電システムとして、ソーラーシェアリングが紹介されている。インドにおける電力需要の20%が農業用で主に灌漑用だとされる。農業用オフグリッド太陽光発電システムを普及させることで100万人の緑の雇用が生まれる可能性があるとしている<sup>123</sup>。

## 9) 中国

深圳太陽能学会の『中国国家エネルギー局 2015年太陽光発電建設実施通知』の政策解説によると、中国では農村発展のために1.4GWのソーラーシェアリング発電を建設することで、25年間で250億元(16.16円/元で、4,041億円)の収入を農村にもたらすとしている。<sup>124</sup>この事は、中国がFITを利用することにより国家主導で所得格差の是正と農村発展のために積極的にソーラーシェアリングを推進することを示している。

上述の事例から理解できることは、各国がこぞって太陽光発電出力を増加させ、脱炭素化を図っている事実である。また、OECD加盟国はLERを上げるために農地で太陽光発電を採用し、新興国のオフグリッド地域においてはSDGs達成のツールとして、親日国との間ではJCMのツールとしてソーラーシェアリング発電が利用されていることが理解できる。

いずれの国においても、「食料生産」に加え「エネルギー生産」を行なうことで、LERが向上するという理解である。英語表現におけるソーラーダブルクロッピング（太陽による二倍収穫）という名称は、その目的を如実に表現している。さらに、イギリスにおいては、エネルギー生産を農業の生産性向上のツールとして捉えており、売電と自家消費の選択が可能である上に、農家にとって経済的にもメリットのある政策が実施されている。これらの海外事例のメリットを理解し、国内の制度に取り込むことは、国内のソーラーシェアリング発電の普及に役立つと考えられる。

## 第四節 ソーラーシェアリング発電の普及を妨げる要因

2013年に始まったソーラーシェアリング発電は、2017年3月末時点で、全国で1,269箇所（346ha）が設備認定を受けている。一方、野立て太陽光発電と言われる遊休地や耕作放棄地を利用した農地転用型太陽光発電の許可件数

は3万8,127件(7,019ha)に及ぶ。同時期でのFITの認定太陽光発電設備(産業用)が46万5千件を越えることを考えると、ソーラーシェアリング発電の認定率は全体の0.3%にも達しておらず、ほとんど普及が進んでいないと言っている状況である。土地の取得費用や造成費用を必要としないこと、土地に関わる固定資産税が安いこと等多くの優位性を持つソーラーシェアリング発電が普及しないのは、ソーラーシェアリング発電が固有の問題を抱えているからではないかと推察される。普及を妨げる要因として、次のようなものが指摘できる。

### 第一項 個々の農家とソーラーシェアリング発電におけるリスク

個々の農家がソーラーシェアリング発電を行う場合、みなし転用の許可を農業委員会から受けること自体に大きな問題はなさそうであるが、電力会社との固定価格買取契約は20年に及ぶため、20年間の営農の保証が必須となる。昨今、農業者の高齢化が著しいため、20年間に及ぶ営農の保証をどうやって担保するのが、ソーラーシェアリング発電を開始する際の大きな課題となっている。

また、農業生産の主体は家族経営が多く占め、金融機関との折衝に不慣れな場合が多いと予想される。一般的な農家がソーラーシェアリング発電を行う場合には、専門家の手助けが必要になる事は容易に想像される。金融機関から資金調達を行うためには、営農に対する毎年の報告義務と3年ごとの「みなし転用の再申請」が必要であることも大きな壁となっている。つまり発電設備そのものがFITの設備認定を受けるとしても、再申請の存在により発電事業そのものの継続性については保証されているとはいえない。そのため、一般的には事業の永続的価値についての判断が留保され易く、金融機関の理解を得にくいだろうと考えられる。実際聞き取り調査を行った結果でも、自己資金や発電事業である当該事業とは別に担保を供する形で、ソーラーシェアリング発電に取り組んでいる農家が大半であることが判明した。

更に、発電事業開始後の経年劣化による発電量の低下だけではなく、自然災害による発電量の低下、発電設備の破損等がリスクとして考えられる。太陽光発電の保険商品も存在するが、収益性が低下することや今後太陽光発電機器類のさらなる低価格化が予測されることから、保険の加入については判断の別れるところであろう。また、万が一発電所が何らかの理由で発電できなくなった際には、追加投資により設備を復旧するか、発電事業そのものから撤退し、みなし転用許可も返上するかを決断しなくてはならない。これらの点については農業者のリスク低減という観点から、事業保険や共済のようなものが設定できるのではないだろうか。

### 第二項 営農を継続する上での農作物への影響に対する懸念

ソーラーシェアリング発電では、農地の上部空間に一定の割合で日光の遮蔽物を設置することになることから、2013年当初は農作物への収穫量、品質に対する影響を懸念する声が多く聞かれた。しかし、福島県、茨城県、埼玉

県，静岡県，長野県，和歌山県，兵庫県，香川県，広島県で2014年5月から2016年12月までに設置されたソーラーシェアリング発電31件の聞き取り調査を行った結果では，栽培されている農作物は稲，サトイモ，畑わさび，カボチャ，麦，ソバ，タマネギ，ブルーベリー，リンゴ，レタス等多様であるが，顕著な収量の低下については確認できなかった。表3-5に聞き取り調査を行ったソーラーシェアリング発電の設置場所，下部の農地面積，地目，栽培作物，遮光率，設置時期，接続区分，発電容量を示す。

また，その他にヒアリングの際に聞かれた声としては，「日陰ができて，夏場の作業が楽になった」，「売電収入により，気分的に余裕ができた」，「ソーラーシェアリング発電の下部の農地で，新しい農作物に挑戦できるので楽しい」等があった。ヒアリングした範疇では，売電及び農作業，収穫等について，概ね高い評価を得られた。

ただし，科学的データが乏しいことから，今後は農業研究の一分野として知見を積み上げていく必要がある。

表 4-5 ソーラーシェアリング発電（稼働中）の聞き取り調査の集計結果

|    | 場所   | 下部の農地面積(m <sup>2</sup> ) | 地目 | 栽培作物               | 遮光率(%) | 設置時期     | 接続区分 | システム容量(kW) |
|----|------|--------------------------|----|--------------------|--------|----------|------|------------|
| 1  | 静岡県  | 945                      | 田  | 稲、里芋、畑わさび          | 38.8   | 2014年5月  | 低圧   | 55.20      |
| 2  | 茨城県  | 824                      | 雑  | 養鶏                 | 32.8   | 2014年9月  | 低圧   | 40.71      |
| 3  | 静岡県  | 756                      | 田  | 稲、里芋、畑わさび          | 38.8   | 2014年12月 | 低圧   | 44.16      |
| 4  | 静岡県  | 691                      | 田  | 稲、里芋、畑わさび          | 38.8   | 2014年12月 | 低圧   | 40.36      |
| 5  | 茨城県  | 1,150                    | 畑  | 麦                  | 29.1   | 2014年12月 | 低圧   | 50.40      |
| 6  | 茨城県  | 1,150                    | 畑  | 麦                  | 29.1   | 2014年12月 | 低圧   | 50.40      |
| 7  | 兵庫県  | 492                      | 畑  | タマネギ               | 32.1   | 2015年1月  | 低圧   | 23.76      |
| 8  | 長野県  | 861                      | 畑  | りんご                | 31.2   | 2015年2月  | 低圧   | 40.40      |
| 9  | 茨城県  | 2,122                    | 畑  | 蕎麦                 | 18.1   | 2015年4月  | 低圧   | 57.96      |
| 10 | 茨城県  | 722                      | 畑  | ブルーベリー             | 38.1   | 2015年4月  | 低圧   | 41.40      |
| 11 | 静岡県  | 843                      | 畑  | 稲                  | 38.1   | 2015年4月  | 低圧   | 48.38      |
| 12 | 和歌山県 | 1,239                    | 畑  | 稲                  | 36.2   | 2015年5月  | 低圧   | 67.62      |
| 13 | 和歌山県 | 826                      | 畑  | 稲                  | 36.2   | 2015年5月  | 低圧   | 45.08      |
| 14 | 福島県  | 888                      | 畑  | かぼちゃ               | 40.2   | 2015年7月  | 低圧   | 53.82      |
| 15 | 福島県  | 774                      | 畑  | かぼちゃ               | 30.2   | 2015年8月  | 低圧   | 35.19      |
| 16 | 静岡県  | 765                      | 畑  | 畑わさび               | 35.0   | 2015年9月  | 低圧   | 40.32      |
| 17 | 茨城県  | 1,011                    | 畑  | 山菜                 | 36.2   | 2015年9月  | 低圧   | 55.20      |
| 19 | 広島県  | 750                      | 畑  | トマト、オクラ、ブロッコリー、レタス | 33.9   | 2015年11月 | 低圧   | 38.30      |
| 20 | 茨城県  | 793                      | 畑  | 柿                  | 45.1   | 2015年11月 | 低圧   | 53.82      |
| 21 | 茨城県  | 793                      | 畑  | 柿                  | 45.1   | 2015年11月 | 低圧   | 53.82      |
| 22 | 埼玉県  | 453                      | 畑  | 園芸作物               | 30.4   | 2016年1月  | 低圧   | 20.70      |
| 23 | 茨城県  | 1,011                    | 畑  | 山菜                 | 36.2   | 2016年2月  | 低圧   | 55.20      |
| 24 | 茨城県  | 1,416                    | 田  | 稲                  | 27.2   | 2016年2月  | 低圧   | 57.96      |
| 25 | 茨城県  | 1,416                    | 畑  | ブルーベリー             | 36.2   | 2016年2月  | 高圧   | 77.28      |
| 26 | 香川県  | 835                      | 畑  | タマネギ・ニンニク・ダイコン     | 27.2   | 2016年2月  | 低圧   | 34.16      |
| 27 | 静岡県  | 918                      | 畑  | 畑わさび               | 35.0   | 2016年11月 | 低圧   | 48.38      |
| 28 | 埼玉県  | 944                      | 畑  | ブルーベリー             | 27.2   | 2016年12月 | 低圧   | 38.64      |
| 29 | 埼玉県  | 809                      | 畑  | 小麦                 | 27.2   | 2016年12月 | 低圧   | 33.12      |
| 30 | 埼玉県  | 1,063                    | 田  | 稲                  | 30.2   | 2016年12月 | 低圧   | 48.30      |
| 31 | 埼玉県  | 860                      | 田  | 稲                  | 27.2   | 2016年12月 | 低圧   | 35.19      |

(注) 聞き取り調査により筆者作成

### 第三項 政策的プロモーションの欠如

ソーラーシェアリング発電は電力事業としての収益，営農への寄与，発電事業により余分な作業が発生しないこと等から，農家が取り組むべき事業である。しかし，実際には産業用太陽光発電全体の 0.3%弱（2017）という設備認定状況である。この点については更なる政策的プロモーションが必要であろう。農家が太陽光発電を事業として検討する際に，先ず選択肢として考えるのは所謂「野立て太陽光発電」である。これは農地転用許可制度上，第2種・第3種農地の方が農地転用へのハードルが低いためである。農地転用が原則許可されていない甲種農地及び第1種農地の場合にのみ，ソーラーシェアリング発電が検討されることとなる。さらには農業委員会への「農地のみなし転用」申請についても，以前はそれぞれの農業委員会の理解にバラツキがあり判断基準の不連続性が見られた。徐々にソーラーシェアリング発電への理解も広まってはいるものの，「簡易な構造」，「平均的な単収」等に明確な定義はなく，解釈は各農業委員会に委ねられているために判断基準が曖昧である。これらの問題点をクリアするためには，更なる法整備と運用ルールの明確化，ソーラーシェアリング発電のための融資制度の充実等一層の制度の整備が求められる。



## 第五章 パリ協定以降の農村開発

本章の目的は、経済成長と地球温暖化ガスの排出量を分離するデカップリングが世界中で進行していること、デカップリング実現のためには炭素生産性の向上が不可欠であること、日本がその中で大幅な遅れを取っていること、これまでの「量から質へ」という概念のパラダイムシフトが必要なこと、発電部門において大幅なCO<sub>2</sub>削減が可能であること、再生可能エネルギーによる発電が21世紀の約束された市場であること等から日本の農村の再生可能エネルギーの潜在力を明らかにすることを目的としている。

### 第一節 デカップリング

#### 第一項 経済成長とGHG排出量のデカップリング

パリ協定に2°C目標が盛り込まれ、人類が排出できるCO<sub>2</sub>が残り1兆トンとなった。つまり炭素排出量が限られる中で、人類がSDGsを達成し、持続可能な成長を続けていくためには、現在の炭素消費型の社会構造を脱炭素社会へとパラダイムシフトし、炭素生産性(炭素投入量当たりの付加価値)を大幅に向上させることが不可欠である。我が国は、国内の排出削減・吸収量の確保によりGHG排出量を2030年度において2013年度比26.0%減の水準にするとの中長期目標と、2050年までにGHG排出量80%の排出削減(なぜかどの資料にも削減の基準年の記述がない)を目指す長期目標を掲げている。21世紀においては、ゼロ炭素社会の実現の成否が、持続可能な経済成長の鍵となる。炭素生産性を巡る国際競争は、2000年前後よりすでに始まっているのである。このためには、経済成長のためには化石燃料の消費が不可欠で分離不能であるという考え方に対して、コペルニクス的な大転換を国民に広く理解してもらうことが必要である。

B. Obama (2017)<sup>125</sup>は、近い将来の政治を脇に置くとすれば、経済的及び科学的証拠が揃ったことで、大統領在任中に現れたクリーンエネルギー経済への動向は継続し、その傾向を利用するための米国の経済的機会が拡大すると確信しているとし、クリーンエネルギーの流れは不可逆的であるとしている。それは、2008年以降、米国が初めて急速なGHG排出削減と同時に経済成長を記録したことによる。具体的には、エネルギー部門のCO<sub>2</sub>排出量は2008年から2015年にかけて9.5%減少したが、経済は10%以上成長した。この間、実質国内総生産(GDP)1ドルあたりのエネルギー消費量は約11%減少し、エネルギー消費単位あたりのCO<sub>2</sub>排出量は8%減少し、GDPのドルあたりのCO<sub>2</sub>排出量は18%低減しており、経済成長と排出量の減少が両立することを示しているとしている。

#### 第二項 グローバルエコノミーにおけるデカップリング

IEA (2017)<sup>126</sup>は、真の変曲点に達したかどうか、いくつかの世界的傾向

は明確ではないが、または時間とともに逆転する可能性のある循環的及び一時的要因があるかどうかは不明であるとしながらも、重要な不確定性は、2014年以降横ばいであったエネルギー関連のCO<sub>2</sub>排出に関連するとしている（図5-1）。つまり、風力や太陽光の急速な展開を背景にした低炭素発電の大幅な拡大、世界のGDPに対するエネルギー強度の低下、中国の努力と米国における石炭からガスへの転換等、いくつもの要因により世界的な石炭使用量が減少する可能性があるとしている。

また、OECDの予測によると、2060年までの長期予測において、日本以外の地域ではグラフは右肩上がりであり、成長が持続していく（図5-2）。さらに、2014～2016年の経済成長率は3.2～3.9%で推移していることから、多くの地域・経済圏で経済成長はCO<sub>2</sub>排出量の増加を意味していないということが理解される。つまり、経済成長とCO<sub>2</sub>排出量が「デカップリング」されつつあることが理解できるのである（図5-3）。しかし、我が国に限っては、成長率の推移の傾向は、世界平均はもちろんのこと、低成長率である米国及びOECD平均値と比べても明らかに低く、経済規模縮小の可能性すらあることが分かる。

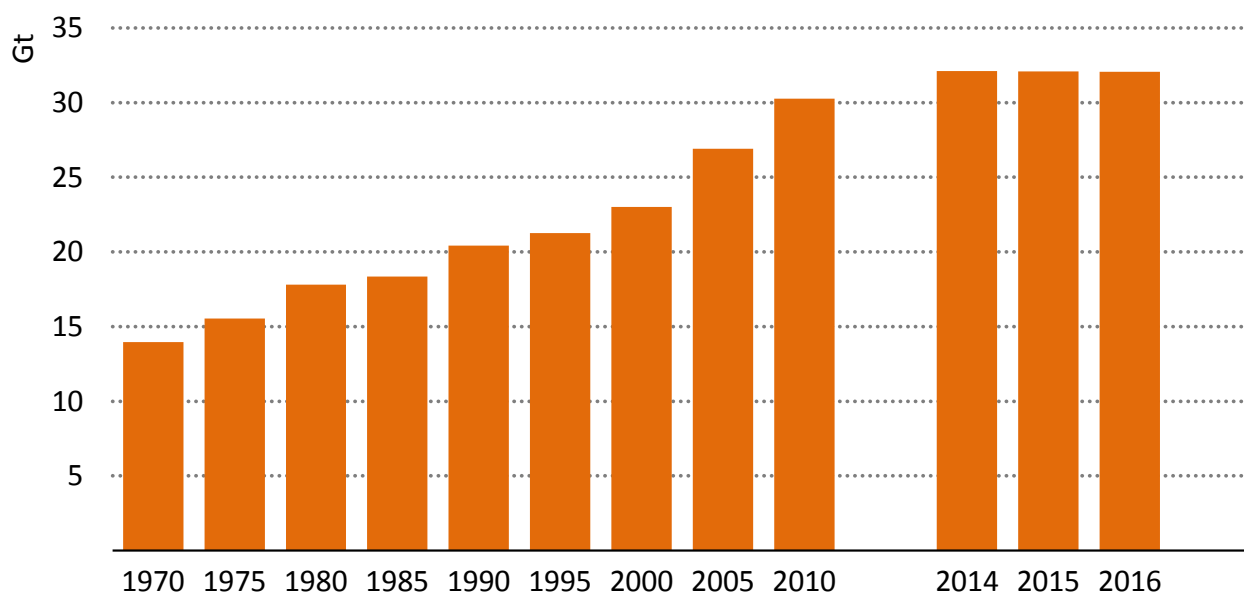


図 5-1 全球エネルギー関連 CO<sub>2</sub> 排出量の推移

Source: IEA, World Energy Outlook 2017, pp.42

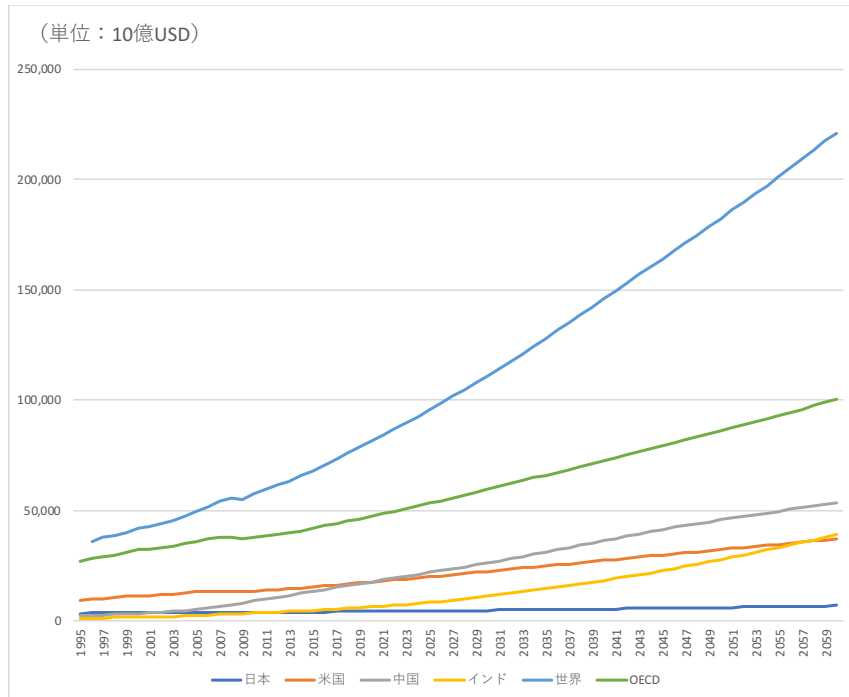


図 5-2 世界の GDP の推移と見通し (1995-2060, US ドルベース)  
 OECD, Long-term baseline projections, No. 95 (2014)より筆者作成  
 (注1) 世界経済全体, OECD, 米国, 中国, インド, 日本の比較  
 (注2) OECD Data より

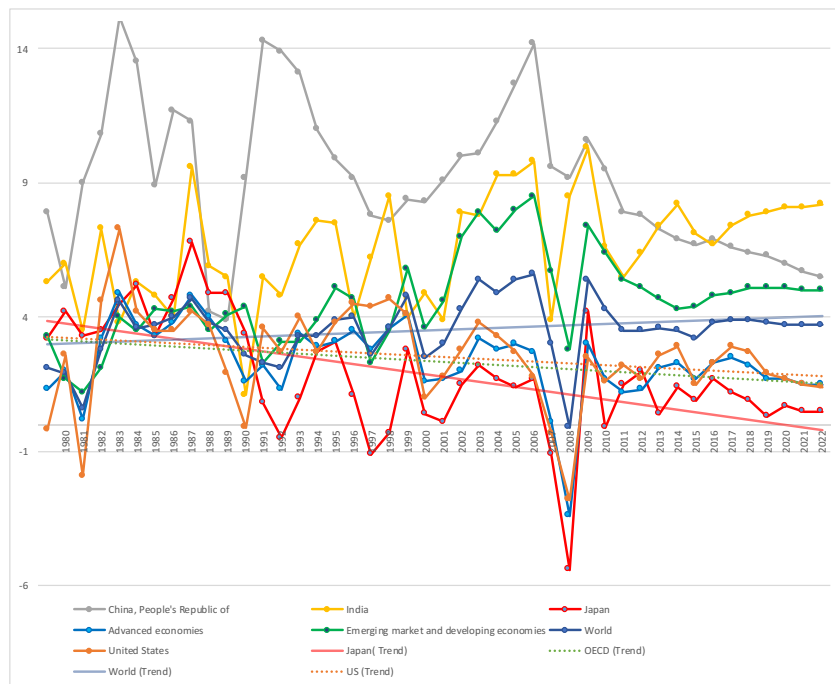


図 5-3 世界の GDP 成長率の推移と世界, OECD, 米国, 日本の成長率の傾向  
 (1980-2023)  
 IMF, World Economic Outlook 2018 より筆者作成

(注 1) 成長率の比較：世界経済全体，先進国，新興国，米国，中国，インド，日本

(注 2) 成長率トレンドの比較：世界経済全体，OECD 加盟国平均，米国，日本の GDP

### 第三項 各経済圏におけるデカップリング

「デカップリング (decoupling)」とは，日本語で「切り離し」を意味する。従来，農業経済学においては，農業保護のため，生産刺激的機能と所得補償機能を切り離し，価格支持をやめ，農家に対して直接的な所得補償を行う政策を指すものであったが，昨今では，経済成長と GHG 排出量を切り離し，持続可能な社会を発展させていくという意味で，世界的に使われるようになってきている。

図 5-4 は，EU における実質 GDP，GHG 排出量，GHG 強度の推移を示している。ドイツが「電力をグリッドに供給する法律 (Stromerzeugungsgesetz: StrEG)」を施行した 1990 年より，着実に GHG 排出量の削減を推進している。特に，1997 年の京都議定書後の 2000 年にドイツでは，「再生可能エネルギー源法 (Erneuerbare-Energien-Gesetz: Renewable Energy Sources Act)」を施行し，その後 EU 各国及び世界中で FIT 法が施行された。EU は，このような継続的で一貫した政策によって，経済成長と GHG 排出量のカップリングを切り離してきたと言える。

EU (2017)<sup>127</sup>は，科学的に証明される必要性和経済的機会の両面から，パリ協定と気候変動への全面的なコミットを継続している。EU とその加盟国 28 カ国は批准書を預託し，1990 年から 2030 年の間に国内排出量を少なくとも 40% 削減するというコミットメントを達成するとしている。また，2016 年，EU の温室効果ガス排出量は，土地利用，土地利用の変更及び林業 (Land Use, Land Use Change and Forestry: LULUCF) 及び国際航空を含む数値で，1990 年比 23% 下回っており，既存の措置に基づく最近の加盟国の予測によれば，2020 年の 20% 削減の目標が達成される。2030 年には，追加の政策が実施されなければ，排出量は 1990 年よりも 30% 減少すると予想される。EU は現在，1990 年から 2030 年の間に排出量を少なくとも 40% 削減するという目的を達成するための新たな法律の交渉を進めているとしている。同報告書 (2017) は，1990 年から 2016 年にかけて，EU の GDP は 53% 増加し，総排出量は 23% 減少し，排出量と GDP の比として定義される EU 経済の GHG 排出強度は，同期間で半減したとしている。

また，気候変動政策の事後評価としては，GDP に対する排出量の減少が主にイノベーションによって推進されていることを報告しており，イノベーションには，再生可能エネルギー利用により低炭素技術を使用するだけでなく，より効率的な発電所，自動運転技術，電気自動車，AI 等を通じて生産性を高めることも含まれ，CO<sub>2</sub> 排出量の EU シェアは，1990 年の 17.3% から 2012 年には 9.9% に減少し，CO<sub>2</sub> 排出量だけでも 1990 年の 19.7% から 2015 年には 9.6% に減少し，3 大経済国の 3 大 GHG (CO<sub>2</sub>，CH<sub>4</sub>，N<sub>2</sub>O) は，EU と中国が，米国よりも 1 人当たり排出量を大幅に減少させていると報告している。

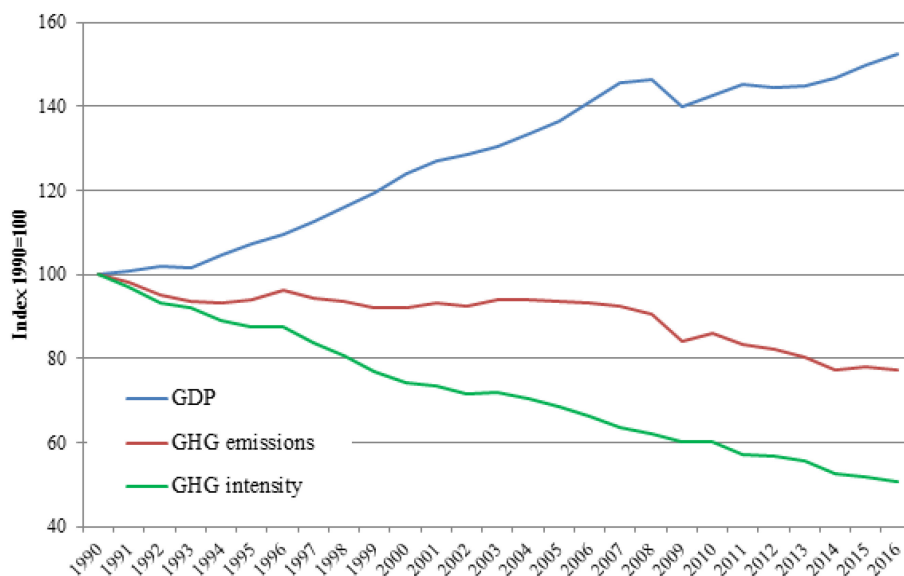


図 5-4 EUにおける実質 GDP, GHG 排出量, GHG 強度の推移, 1990-2016  
 Source: 「欧州議会と閣僚会議への委員会報告書 パリから 2 年後 - EU の気候に関するコミットメントに向けての進展」, EU, 2017, pp.4 より

IEA (2017) <sup>128</sup>は、経済成長と電力需要の関係に大きな変化が生じており、中国を始めとする主要な経済成長国でも、最近の電力需要の伸びは GDP の成長率をはるかに下回っていることと、電力需要単位あたりの化石燃料投入量が低下していることを報告している。図 5-5 に見られるように、新政策シナリオ (NPS) においては、電化や LED 化により効率化が図られること、電力供給における再生可能エネルギーのシェアが上昇すること、超臨界発電や超超臨界発電などの先端高度技術の貢献等により、経済成長と化石燃料消費のデカップリングが可能になるとしている。

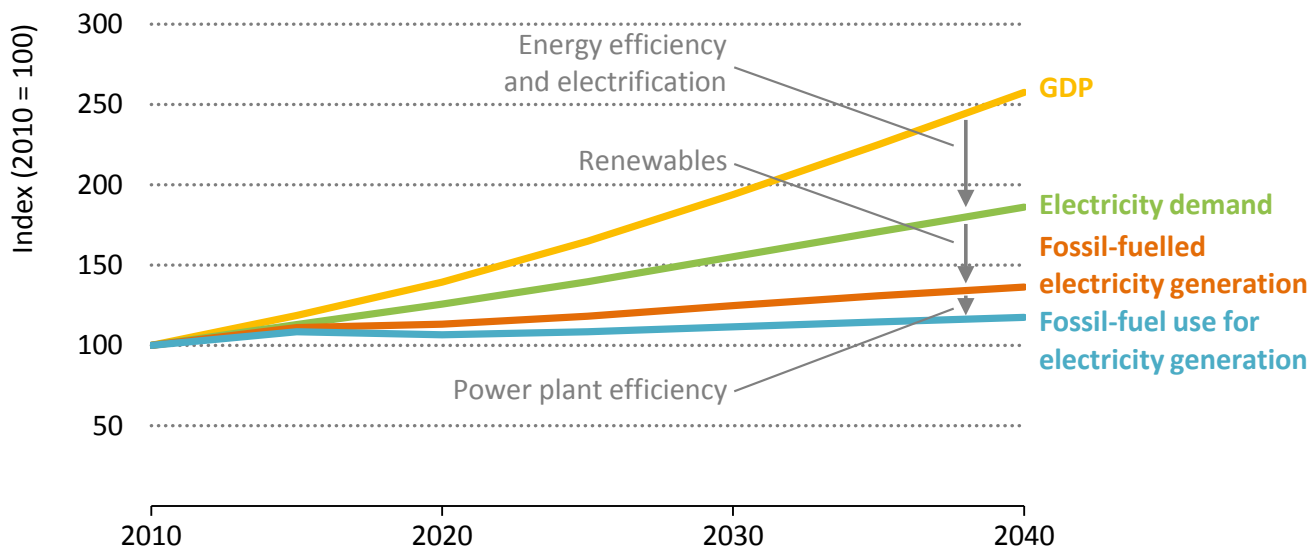


図 5-5 新しい政策シナリオ（NPS）における世界の GDP 成長と発電における化石燃料消費のデカップリング

Source: IEA, World Energy Outlook 2017, pp. 261

米国においても、「デカップリング」の進展が確認されている。表 5-1 は、2000 年から 2014 年までの米国 51 州における実質 GDP，CO<sub>2</sub> 排出量，炭素投入量の変化の割合を集計したものである。全米平均で 15 年間で 24% の経済成長を達成しており，その間のエネルギー関連 CO<sub>2</sub> 排出量がマイナス 7.1%，経済における炭素強度が 25.3% 低減していることが理解できる。デカップリングを達成している州は，51 州中 35 州にも上る。

もちろん，米国のエネルギー効率がこれまで低かったから CO<sub>2</sub> 排出量の削減が可能であったとすることも議論も可能である。しかし，全ての州において CO<sub>2</sub> 排出強度は低下しており，その中央値はマイナス 26.7% である。また，デカップリングができていない 16 州においても，平均経済成長率は 37.8% であるのに対して CO<sub>2</sub> 排出量の増加は平均値で 6.8% に留まっていることから，米国においてデカップリングが進行していると解釈することができる。

表 5-1 全米における実質 GDP, CO<sub>2</sub> 排出量, 炭素投入量の変化  
(2000-2014)

| State                | Percent Change in Real GDP | Percent Change in Energy-Related CO <sub>2</sub> Emissions | Percent Change in Carbon Intensity of Economy | State             | Percent Change in Real GDP | Percent Change in Energy-Related CO <sub>2</sub> Emissions | Percent Change in Carbon Intensity of Economy |
|----------------------|----------------------------|--|---|-------------------|----------------------------|--|---|
| Alabama              | 19.8%                      | -12.9%   | -28.7%  | Montana           | 38.2%                      | 2.2%   | -25.4%  |
| Alaska               | 37.7%                      | -20.7%   | -42.6%  | Nebraska          | 36.7%                      | 25.5%  | -8.9%   |
| Arizona              | 27.8%                      | 8.1%   | -16.4%  | Nevada            | 24.5%                      | -18.1%   | -34.5%  |
| Arkansas             | 28.7%                      | 8.7%   | -16.2%  | New Hampshire     | 21.4%                      | -13.9%   | -29.5%  |
| California           | 28.2%                      | -6.3%  | -26.6%  | New Jersey        | 11.1%                      | -8.8%  | -17.0%  |
| Colorado             | 27.5%                      | 7.8%   | -15.7%  | New Mexico        | 23.3%                      | -13.2%   | -29.6%  |
| Connecticut          | 10.6%                      | -17.7%   | -26.0%  | New York          | 23.8%                      | -19.7%   | -35.4%  |
| Delaware             | 16.9%                      | -20.0%   | -31.6%  | North Carolina    | 26.3%                      | -14.6%   | -33.1%  |
| District of Columbia | 31.7%                      | -30.3%   | -46.8%  | North Dakota      | 128.0%                     | 16.0%  | -52.2%  |
| Florida              | 24.3%                      | -4.1%  | -23.7%  | Ohio              | 11.2%                      | -12.9%   | -22.6%  |
| Georgia              | 15.1%                      | -17.0%   | -28.6%  | Oklahoma          | 43.0%                      | 4.7%   | -27.4%  |
| Hawaii               | 30.3%                      | -1.4%  | -25.6%  | Oregon            | 45.6%                      | -8.5%  | -37.0%  |
| Idaho                | 26.0%                      | 6.2%   | -15.7%  | Pennsylvania      | 19.3%                      | -11.5%   | -26.7%  |
| Illinois             | 10.1%                      | 0.2%   | -9.2%   | Rhode Island      | 16.7%                      | -9.4%  | -22.2%  |
| Indiana              | 16.8%                      | -12.9%   | -27.0%  | South Carolina    | 18.7%                      | -7.8%  | -23.1%  |
| Iowa                 | 31.6%                      | 5.2%   | -18.5%  | South Dakota      | 46.7%                      | 8.1%   | -26.6%  |
| Kansas               | 22.6%                      | -7.1%  | -25.3%  | Tennessee         | 22.7%                      | -18.9%   | -34.5%  |
| Kentucky             | 18.6%                      | -4.8%  | -20.4%  | Texas             | 50.5%                      | 1.1%   | -27.8%  |
| Louisiana            | 14.5%                      | -9.0%  | -21.5%  | Utah              | 45.2%                      | 0.8%   | -31.9%  |
| Maine                | 8.8%                       | -25.0%   | -31.5%  | Vermont           | 22.7%                      | -12.9%   | -29.0%  |
| Maryland             | 32.5%                      | -20.2%   | -39.4%  | Virginia          | 26.2%                      | -15.1%   | -33.3%  |
| Massachusetts        | 20.5%                      | -21.9%   | -35.5%  | Washington        | 29.1%                      | -12.9%   | -31.6%  |
| Michigan             | -1.9%                      | -15.8%   | -15.1%  | West Virginia     | 16.3%                      | -14.5%   | -27.3%  |
| Minnesota            | 23.1%                      | -3.6%  | -22.0%  | Wisconsin         | 19.6%                      | -6.2%  | -22.1%  |
| Mississippi          | 13.7%                      | 4.4%   | -8.8%   | Wyoming           | 40.3%                      | 3.9%   | -27.1%  |
| Missouri             | 10.4%                      | 5.0%   | -5.4%   | <b>U.S. total</b> | <b>24.0%</b>               | <b>-7.1%</b>   | <b>-25.3%</b>                                 |

「成長, 炭素, トランプ: 経済成長と排出量の「デカップリング」への国家の進歩と漂流」, D. Saha & M. Muro, 2016 より筆者作成

(摘要) 緑: デカップリングを達成 メロンオレンジ: 排出強度の削減を達成

Source: Brookings analysis of EPA State CO<sub>2</sub> Emissions from Fossil Fuel Combustion, 1990-2014; Bureau of Economic Analysis annual GDP by state data; and Energy Information Administration's State Energy Data System, 1960-2014

B. Obama (2017)<sup>65</sup> は, クリーンエネルギーの不可逆的な勢いには, 前述の①2008年以降の「デカップリングの達成」に加え, ②プライベートセクターにおける排出量の削減, ③電力部門における市場勢力, ④世界的な趨勢等4つの要因があるとしている。プライベートセクターにおける事例としては, アルミメーカーの Alcoa が2005年ベースラインから2020年までに GHG 強度を30%削減する目標を設定したこと, 及びゼネラルモーターズが施設からのエネルギー強度を2011年のベースラインから20%削減の取り組みを示している。これらの投資により, 2015年のエネルギー消費総額は, 2008年の2.5%減, 経済規模は10%増となったとしている。また, 電力部門においては, 再エネ設備価格の低下から, 2015年には化石燃料の2倍の投資をグローバル資本から調達したとしている。そして世界的な趨勢としては, パリ合意が1年足らずで発効し, マラケシュでのフォローアップ会議において, 世界の排出量の75%以上を占める110以上の国々がすでにパリ協定に参加していることを挙げ, 気候変動

措置のための「勢いは不可逆的である」としている。

#### 第四項 炭素生産性

##### 1) 炭素生産性

炭素生産性とは、文字通り炭素の排出に対してどれだけの経済活動が行われているのかを表した指標である。通常、炭素排出量は、以下の茅恒等式<sup>129</sup>により求められる。

$$\text{CO2 排出量 (CO2) t 人口 (POP)} \times \frac{\text{GDP}}{\text{人口 (POP)}} \times \frac{\text{CO2}}{\text{エネルギー (E)}} \times \frac{\text{エネルギー (E)}}{\text{GDP}}$$

この式を全微分して、CO<sub>2</sub>で割ると

$$\frac{d\text{CO2}}{\text{CO2}} \text{ t} \frac{d\text{POP}}{\text{POP}} + \frac{d\text{GDP}}{\text{GDP}} \frac{d\text{CO2}}{\text{CO2}} + \frac{d\text{E}}{\text{E}} \frac{d\text{GDP}}{\text{GDP}}$$

よって、

$$\text{CO2 増加率} = (\text{人口変化率}) + (\text{一人あたりの経済的付加価値変化率}) + (\text{炭素集約度変化率}) + (\text{エネルギー集約度変化率})$$

ということができる。

また、上述の式より、人口が変化しないとして、

$$\text{CO2 t GDP} \times \frac{\text{CO2}}{\text{E}} \times \frac{\text{E}}{\text{GDP}}$$

と表すことができる。

これを生産性から表記すると、

$$\text{GDP t} \frac{\text{GDP}}{\text{E}} \times \frac{\text{E}}{\text{CO2}}$$

と表すことができる。

よって、

$$\text{炭素生産性 t} \frac{\text{GDP (付加価値)}}{\text{投入エネルギー量}} \times \frac{\text{投入エネルギー量}}{\text{投入 CO2 量}} = \frac{\text{GDP (付加価値)}}{\text{投入 CO2 量}}$$

と表すことができる。

つまり、炭素生産性とは、どれだけのエネルギー投入で GDP を生み出すことができ、どれだけの炭素を使ってエネルギーを生み出すことができるのかについての指標である。

化石燃料とバイオマスの燃焼による二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)は、温室効果ガス(GHG)排出量の90%を占めており、気候変動に対処する国の能力における重要な要素である。大気中のGHG濃度の安定化は、構造的及び技術的変化を目指す一貫



した国内及び国際政策の実施に依存している（OECD, 2017）<sup>71</sup>。2008年時点での世界の炭素生産性は、CO<sub>2</sub>e トン当たり約 740 ドルであり、年間成長率 3.1%と 20 ギガトン/年の二酸化炭素排出量削減を両立させるためには、2050年までに炭素生産性を CO<sub>2</sub> 換算で 7,300 ドルにする必要があるとしている（E.Beinhocker et al., 2008）<sup>130</sup>。化石燃料における炭素消費は、ほとんどの場合、GHG 排出にリンクしている。つまり、炭素生産性を向上させる能力は、排出量の全体的なレベルを削減するその国の能力に依存していると言える。

## 2) 付加価値を生むために必要な炭素とは

付加価値を生むために必要な炭素とは、一体何であろうか。環境省（2017）<sup>131</sup>は、炭素投入量の大幅削減を実現するために、再エネによる発電、省エネルギーの推進（エネルギー生産性の大幅な向上）と、低炭素の電源・熱の導入、ボラティリティの高い再エネの貯蔵、都市構造対策等による活動量（自動車走行量、床面積）の適正化が必要であるとしている。これらの発想は、日本が省エネルギー政策の過程で獲得してきた手法であり、我が国が得意としているものであるが、右肩上がりの経済状況なしには継続的な投資が困難なものもある。すでに過去の延長線上にソリューションがないことは、失われた四半世紀が示している。付加価値を生むために必要な炭素とは、炭素でしか出来ないことにのみ利用すべきであり、炭素である必要がない代替できるものに関しては、全て別の方式に移行するといったパラダイムの転換が必要である。

一方、OECD（2017）<sup>132</sup>は、炭素投入量の削減は、国際的な生産ネットワークとグローバルバリューチェーンが相互依存を深めているため、グローバルな状況に置かれなければならないことを意味するとしている。さらに、貿易の増加と炭素集約型生産の海外への移転に伴い、国内排出量の削減は、世界の他の地域で部分的にまたは完全に相殺されることがあるため、国際貿易や最終的な内需に伴う「炭素の流れ」をよく理解しなければならない。貿易・経済成長と環境との関連は複雑であるから、成長と発展のための貿易の競争上の利益を含む様々な要因を説明しなければならないとしている。

ここでの示唆は、日本国内のみで効率を高めるだけでは炭素生産性の分母を小さくすることは不可能であり、産油国や資源国あるいは生産進出先国を包含した形でのドラスティックな構造の改革が必要になるという点である。

## 3) 炭素生産性における付加価値とは

一方、炭素生産性を論じると、畢竟、付加価値をどのようにして最大化させるのかという問題に突き当たる。経済の規模は、製品（あるいはサービス）の価値×数量で計算される。高度経済成長期における GDP の成長とは、掛け算の各項の数値を大きくしていくことであった。それは、生産量であり、活動人員であり、店舗面積であり、活動時間であり、とにかくなんでも「大きいことは良いことだ」という価値観に集約される直線的な思考であった。

しかし、我が国においては、現在においても多くの指導者が、GDP を大きくするためには、GHG の排出量増加は自明の理であるとしているのではないかと

首を傾げることも多い。省エネルギー技術とゼロ炭素社会は、全く別の次元で存在している。社会構造を変革せずに伝家の宝刀である省エネ技術に固執するのは、カラ雑巾を絞る行為でしかなく、何ら新たな付加価値をもたらさない。したがって、付加価値を最大化させるためには、単純なハードウェアとしての物質・製品の生産だけではなく、付加価値と炭素投入量が連動しないもの、つまり知的財産、ソフトウェア、金融を始め、想像力をベースにした無形の製品、サービス等による新たな付加価値を無視することはできないのである。

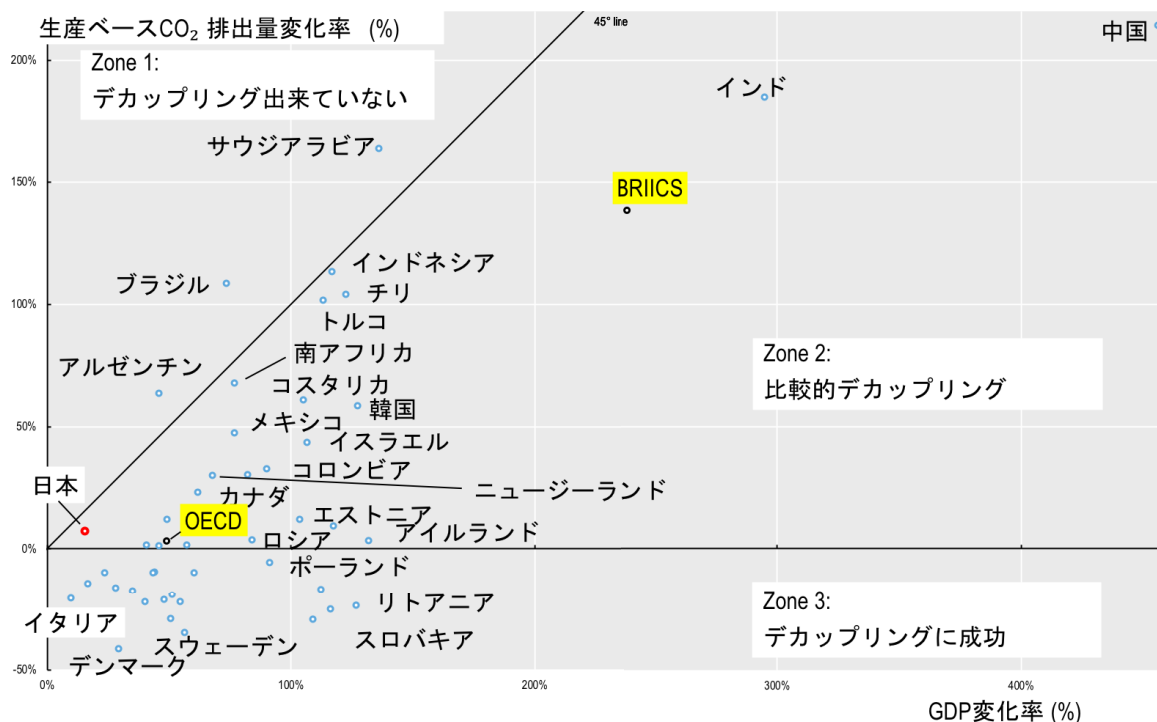


図 5-6 生産ベース CO<sub>2</sub> 排出量の変化率と GDP の変化率 (1995-2014)  
OECD グリーン成長研究, グリーン成長指標 2017, OECD database より  
筆者作成

Data Source:

IEA (2016), “CO<sub>2</sub> emissions by product and flow (Edition 2016)”, IEA CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion Statistics (database). DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/data-00430-en> (accessed on 31 January 2017)

OECD (2015), “Carbon dioxide embodied in international trade”, OECD Structural Analysis Statistics: Input-Output (database). DOI: [http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=IO\\_GHG\\_2015](http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=IO_GHG_2015) (accessed on 31 January 2017)

OECD (2016a), “Aggregate national accounts, SNA 2008 (or SNA 1993): gross domestic product”, OECD National Accounts Statistics (database). DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/data-00001-en> (accessed in January 2017)

2017)

OECD (2016b), “OECD economic outlook No. 100 (edition 2016/2)”, OECD Economic Outlook: Statistics and Projections (database).

DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/7fa317bf-en> (accessed in January 2017)

World Bank (2016), “World development indicators”.

<http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators> (accessed in January 2017)

表 5-2 生産ベース CO<sub>2</sub> 排出量の変化率と GDP の変化率

| 状況 | 国名     | GDP変化率 (%) | CO2排出量変化率 (%) | ΔCO2/ΔGDP | 状況 | 国名       | GDP変化率 (%) | CO2排出量変化率 (%) | ΔCO2/ΔGDP |
|----|--------|------------|---------------|-----------|----|----------|------------|---------------|-----------|
| 1  | イタリア   | 9%         | -20%          | -213.9%   | 21 | アイルランド   | 132%       | 4%            | 2.9%      |
| 2  | デンマーク  | 29%        | -41%          | -140.1%   | 22 | 米国       | 57%        | 2%            | 3.6%      |
| 3  | ギリシア   | 16%        | -14%          | -84.7%    | 23 | スペイン     | 46%        | 2%            | 3.7%      |
| 4  | スウェーデン | 56%        | -34%          | -61.0%    | 24 | アイスランド   | 84%        | 4%            | 4.9%      |
| 5  | ハンガリー  | 50%        | -28%          | -56.3%    | 25 | オーストリア   | 41%        | 2%            | 4.9%      |
| 6  | ドイツ    | 28%        | -16%          | -55.8%    | 26 | OECD     | 49%        | 3%            | 6.4%      |
| 7  | ベルギー   | 40%        | -22%          | -54.4%    | 27 | エストニア    | 117%       | 10%           | 8.3%      |
| 8  | フランス   | 35%        | -17%          | -48.5%    | 28 | ルクセンブルグ  | 103%       | 13%           | 12.1%     |
| 9  | 英国     | 48%        | -21%          | -43.1%    | 29 | リノルウェー   | 49%        | 12%           | 25.4%     |
| 10 | ポルトガル  | 23%        | -9%           | -40.1%    | 30 | コロンビア    | 90%        | 33%           | 36.8%     |
| 11 | チェコ    | 54%        | -22%          | -39.8%    | 31 | オーストラリア  | 82%        | 31%           | 37.7%     |
| 12 | フィンランド | 51%        | -19%          | -36.7%    | 32 | カナダ      | 62%        | 24%           | 38.3%     |
| 13 | スロバキア  | 109%       | -29%          | -26.5%    | 33 | イスラエル    | 106%       | 44%           | 41.6%     |
| 14 | オランダ   | 43%        | -9%           | -21.4%    | 34 | ニュージーランド | 68%        | 31%           | 45.2%     |
| 15 | ラトビア   | 116%       | -24%          | -21.1%    | 35 | 韓国       | 127%       | 59%           | 46.4%     |
| 16 | スイス    | 44%        | -9%           | -20.6%    | 36 | 日本       | 16%        | 7%            | 47.1%     |
| 17 | リトアニア  | 127%       | -23%          | -18.3%    | 37 | 中国       | 456%       | 215%          | 47.1%     |
| 18 | スロベニア  | 60%        | -9%           | -15.5%    | 38 | BRICS    | 238%       | 139%          | 58.2%     |
| 19 | ポーランド  | 112%       | -16%          | -14.5%    | 39 | コスタリカ    | 105%       | 61%           | 58.6%     |
| 20 | ロシア    | 91%        | -5%           | -5.7%     | 40 | メキシコ     | 77%        | 48%           | 62.7%     |
|    |        |            |               |           | 41 | インド      | 295%       | 185%          | 62.9%     |
|    |        |            |               |           | 42 | チリ       | 122%       | 105%          | 85.4%     |
|    |        |            |               |           | 43 | 南アフリカ    | 77%        | 68%           | 89.3%     |
|    |        |            |               |           | 44 | トルコ      | 113%       | 102%          | 90.4%     |
|    |        |            |               |           | 45 | インドネシア   | 117%       | 114%          | 97.7%     |
|    |        |            |               |           | 46 | サウジアラビア  | 136%       | 164%          | 120.9%    |
|    |        |            |               |           | 47 | アルゼンチン   | 46%        | 64%           | 139.8%    |
|    |        |            |               |           | 48 | ブラジル     | 73%        | 109%          | 148.4%    |

OECD グリーン成長研究，グリーン成長指標 2017，OECD database より筆者作成

図 5-6 は、1995 年から 2014 年までの各国の生産ベース CO<sub>2</sub> 排出量の変化率と GDP の変化率の相関を表したものである。ここから理解できることは、日本はどちらかといえばデカップリングを実現できない国であるという事実である。この図の 45°線上付近に位置する国は、インドネシア、チリ、トルコ、南アフリカ等の新興国であり、なおかつその中でも日本の成長率は最も低い。このことは、1995 年からの 20 年間日本が経済的に停滞状況にあっただけでなく、炭素生産性の向上もできていないことを表している。この点については Zone3 に属する EU 諸国と比べれば一目瞭然である。また、表 5-2 からは、GDP 変化率に対する CO<sub>2</sub> 削減率の比で見た場合、日本は調査対象国 48 カ国中、

36位に位置し、OECDの中では最下位グループに位置することが理解できる。脱炭素社会の構築という点においては、一般的な日本人の持つ「省エネ先進国日本」というイメージとは裏腹に、後続集団に位置し、さらにランキングを落としていく可能性がある。

## 第二節 量から質への転換

環境省（2017）<sup>70</sup>は、人口減少等の制約下において経済成長を実現するための付加価値生産性の向上とパリ協定に対応するための炭素生産性の向上とは、経済の体質を「量から質へ」転換させる点において方向性を共有しているとの立場をとっている。炭素生産性は、いわば「量から質への経済成長への転換」の達成度合いを測る一つの経済指標としての性格を持つと言えらるとしている。この言葉に象徴されるように、我が国は過去からの延長上にゼロ炭素社会があるとの幻想にとらわれているのではないだろうか。

「量から質への経済成長への転換」はこの四半世紀の間、事あるごとにお題目のように繰り返し唱え続けられてきた。日本人が「品質」という言葉を使うとき、往々にして「過剰品質」とも呼ばれる余分なコストを掛けた末に、収益性の低下を招くことさえあった。果たして「量から質への経済成長への転換」といった定性的な概念のみで、GHG排出量を削減し、GDPの増大が図れるのであろうか？ 筆者はこの点において懐疑的である。前項からも明らかのように、OECD加盟するほぼ全ての国が、すでにデカップリングを実現している。この事実を真剣に認識し、「量から質へ」という概念についてもパラダイムシフトすべき時が来ている。

もちろん環境省（2017）が指摘する通り、環境保全対策は、対策技術等に対する新たな投資・消費需要を生み、イノベーションを誘発する<sup>70</sup>。そして、さらに重要なことは、再エネによる発電の割合を増大させるということは、化石燃料の輸入額を縮小していくことを意味している。FIT法における賦課金問題においても、常に話題となるのは国民の負担分のみであるが、国外に支払う必要のなくなったエネルギー代金は、実際のところ国内にそして国民に還元される。その金額は決して小さいものではないため、マクロ経済の観点からも資金の流れの変化が、どんな影響をもたらすのかについても議論する必要がある。

## 第三節 CO<sub>2</sub>排出量の削減

日本の省エネ技術については、あらゆるやるべきことをやってきたので、「日本の省エネ技術は行き着くところまで行き着いた」、「カラ雑巾を絞っても何も出ない」等の言い方をよく聞く。しかし、本当に日本にはもうGHGの削減余地が無いのだろうか？日本人はあまりにも効率のみにこだわりすぎているのではないだろうか？もっと根本的に炭素投入量の削減を可能にする方法はないのだ

うろか？

図 5-7 は、1990 年から 2016 年までの我が国の CO<sub>2</sub> 部門別排出量の推移を表したものである。政府の説明として、福島第一原子力発電所事故により火力発電所の運転が増えたとの説明がなされるが、この図からは 2009 年から 2012 年までは CO<sub>2</sub> の排出量が直線的に増加しており、2013 年には横ばいとなった後に、2014 年、2015 年と排出量が減少し、2016 年に再び上昇に転じていることが分かる。環境省の資料では、太陽光発電が増加した 2016 年に、CO<sub>2</sub> 排出量が前年度比で 3 千万トン増加している理由についての説明はない。

環境省（2018）<sup>133</sup>は、2016 年度の我が国の GHG 排出量を 1.307Gt CO<sub>2</sub>eq/年（CO<sub>2</sub> 換算）、CO<sub>2</sub> 排出量を 1.206Gt CO<sub>2</sub>/年とし、それぞれ前年度比 16Mt CO<sub>2</sub>eq、1.2%の減少、19.3Mt CO<sub>2</sub>、1.6%の減少、としている。IEA（2018）<sup>11</sup>は、2016 年の全世界の CO<sub>2</sub> 総排出量が 320 億トン（32.0Gt CO<sub>2</sub>）であったとしており、全世界の排出量の 3.8%を占めている。また、我が国の中期目標である 2030 年時点における 2013 年度比 26.0%減の進捗状況としては、130MtCo2eq/年、7.3%の削減となっており、あと 14 年で 280Mt CO<sub>2</sub>eq（単純平均で 20Mt CO<sub>2</sub>eq/年）の削減を達成しなければならない。

エネルギー消費の計算には、発電及び熱発生に伴う CO<sub>2</sub> 排出量を電気及び熱の生産者側の排出として計上する電気・熱配分前で集計する方法とエネルギーを消費量に応じて各最終消費部門及びエネルギー転換部門の消費者に配分する 2 通りの集計方法がある。この集計では製油所と発電所はエネルギー部門として同じ部門として集計されているが、電気・熱配分後の CO<sub>2</sub> 排出量を減じることによって発電に係る CO<sub>2</sub> 排出量を推計できる。2016 年度における電気・熱配分前のエネルギー転換部門の CO<sub>2</sub> 排出量は 507Mt CO<sub>2</sub>/年であり、電気・熱配分後のエネルギー転換部門の CO<sub>2</sub> 排出量は 98Mt CO<sub>2</sub>/年であるから、2016 年度の発電部門のみにおける CO<sub>2</sub> 排出量は 409Mt CO<sub>2</sub>/年となる。

工場、事業所等の省エネは以前よりかなり進んでいるため、システムの抜本的な変更を除けば、これ以上の大幅な CO<sub>2</sub> 排出量削減は困難であると考えられる。自動車に関しては、自動運転オートパイロット機能と電気自動車への移行により、相当量の CO<sub>2</sub> 削減が期待できると考えられるが、市場も大きいため、ある程度のリードタイムが必要と考えられる。農業による食料生産分野については議論に上るものの、食料生産という失敗が許されない分野のため、GHG 排出量の削減についても随時最適化を図っていくことになると思われる。

このように消去法で考えたとき、発電部門のみが脱炭素化を行っても本来の機能を失わない部門であることが理解できる。発電は必ずしも化石燃料が必須とはならないように、すでに人類は再生可能エネルギーによる発電を実用化している。もちろん、電力の脱炭素化はエネルギー系商社や重電メーカーに関わるロジスティクス関連産業の売上を大きく下げることになるだろう。一方、海外に流出していた資金は国内で循環することになり、国内経済を刺激することになる。財務省貿易統計（2014）<sup>134</sup>によると、我が国のエネルギーの総輸入額はやく 28 兆円である。CO<sub>2</sub> の排出量から按分した発電関連のエネルギー輸入額は、エネルギー総輸入額×発電部門 CO<sub>2</sub> 排出量／全 CO<sub>2</sub> 排出量で約 9.5

兆円となる。

前章でも述べたとおり、ソーラーシェアリング発電を耕作放棄地に設置した場合、年間発電量は3,140億 kWhとなり、CO<sub>2</sub>削減量は2億7百万 t CO<sub>2</sub>/年となる。あるいは、各農業経営体が100kW ずつのソーラーシェアリング発電を行なった場合には、年間発電量は1,867億 kWhとなり、CO<sub>2</sub>削減量は1億2千3百万 t CO<sub>2</sub>/年となる。これは2016年度の電力需要の34.5%（各農業経営体100kWの場合、20%）に相当し、発電部門のCO<sub>2</sub>を51%（各農業経営体100kW毎の場合、30%）削減できることを意味している。

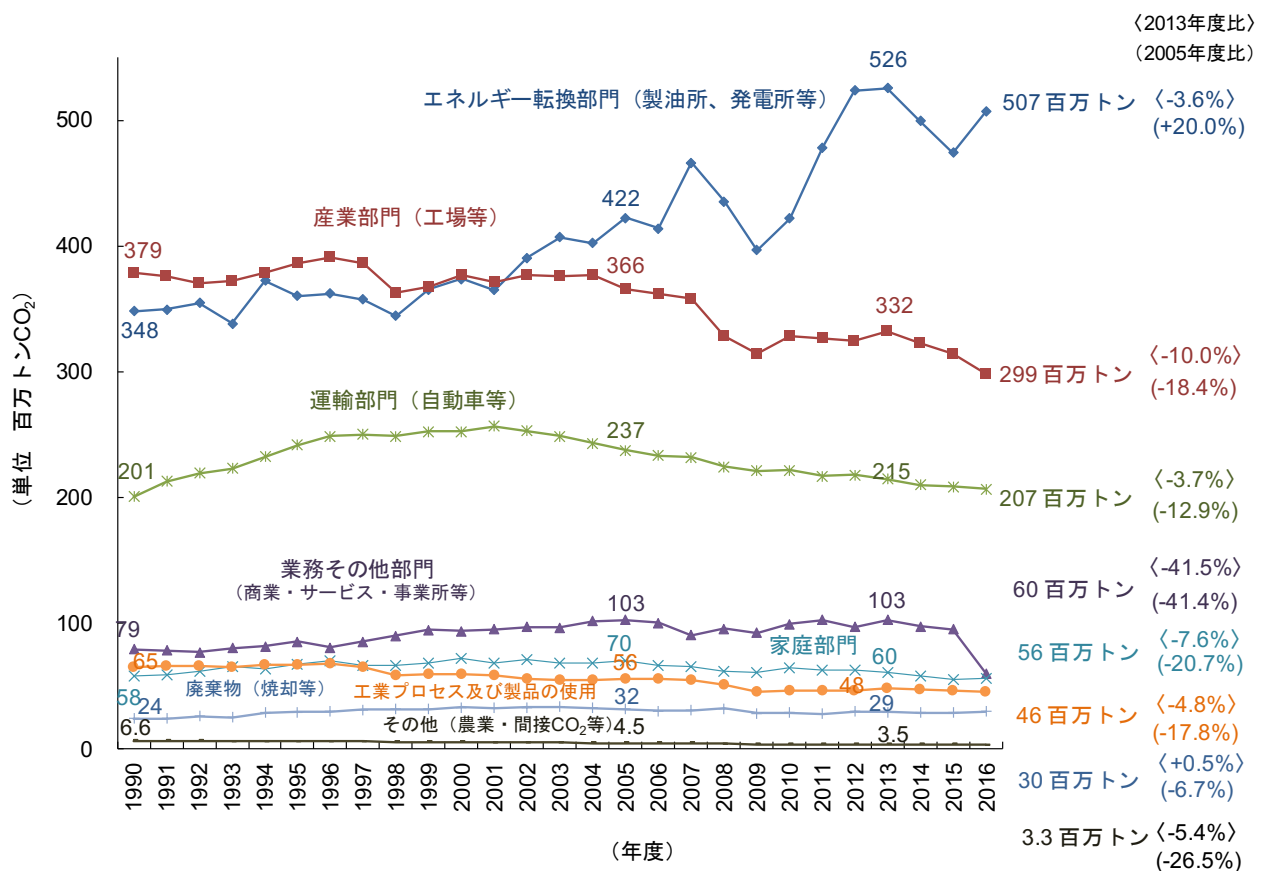


図 5-7 CO<sub>2</sub> 部門別排出量の推移 (1990-2016)

Source: 「2016 年度(平成 28 年度)の温室効果ガス排出量(確報値)について」, 2018, 環境省・国立環境研究所より

(注 1) 発電及び熱発生に伴う CO<sub>2</sub> 排出量を電気及び熱の生産者側の排出として計上したもの。

(注 2) 「電気事業法等の一部を改正する法律」(第 2 弾改正)(2014 年 6 月 11 日成立)により、2016 年 4 月から電気の小売業への参入が全面自由化されると共に電気事業の類型が見直されたことに伴い、2015 年度まで業務その他部門や産業部門に計上されていた自家用発電の CO<sub>2</sub> 排出量の一部が、エネルギー転換部門内の事業用発電の項目に移行したため、2015 年度と 2016 年度の間で数値が大

大きく変動している。

(注 3) 廃棄物のうち、エネルギー利用分の排出量(※)については、毎年 4 月に条約事務局へ提出する温室効果ガスインベントリでは、条約インベントリ報告ガイドラインに従い、エネルギー起源の排出として計上しており、本資料とは整理が異なる。CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O についても同様である。

※エネルギー利用分の排出量:エネルギーとして利用された廃棄物及びエネルギー回収を伴う廃棄物焼却における排出量(「廃棄物が燃料として直接利用される場合の排出量」、「廃棄物が燃料に加工された後に利用される場合の排出量」、「廃棄物が焼却される際にエネルギーが回収される場合の排出量」)

(注 4) 一酸化炭素(CO)、メタン(CH<sub>4</sub>)及び非メタン揮発性有機化合物(NMVOC)は、長期的には大気中で酸化されて OC<sub>2</sub> に変換される。間接 OC<sub>2</sub> はこれらの排出量を OC<sub>2</sub> 換算した値を指す。ただし、燃焼起源及びバイオマス起源の CO、CH<sub>4</sub> 及び NMVOC に由来する排出量は、二重計上やカーボンニュートラルの観点から計上対象外とする。なお、この間接 OC<sub>2</sub> とは発電及び熱発生に伴う OC<sub>2</sub> 排出量を各最終消費部門に配分した排出量のことではない。

#### 第四節 約束された市場

IEA (2017)<sup>135</sup>は、世界規模の大規模エネルギーシフトは、エネルギー投資の見直しを変えらるゝとしている。再生可能エネルギーに関する電力投資は、新政策シナリオ(NPS)においては総エネルギー供給投資のほぼ半分を占め、持続可能な開発シナリオ(SDS)ではほぼ3分の2を占めるとしている。また、クリーンエネルギー技術とエネルギー効率に関する投資は、新政策シナリオ(NPS)における供給と最終用途への累積投資で60兆ドル(110円/ドルで、6,600兆円)、持続可能な開発シナリオ(SDS)では69兆ドル(110円/ドルで、7,590兆円)の大部分を占めるとしている。価格シグナルと政策枠組みを適切に獲得するためには、現在再生可能エネルギーへの補助金のほぼ2倍の2,600億ドル(110円/ドルで、28.6兆円)(2016年)と推計される化石燃料の無駄な消費を促進する補助金を段階的に廃止することが含まれるとしている。さらに、地域社会、地方自治体、民間セクターの取り組みの進展に伴い、将来の明るい未来を追求するためには、うまく設計された政策が不可欠である。

これは我が国だけの課題ではなく地球全体での課題である。この投資の動きは、少なくとも2050年までで終わるものではなく、今世紀後半まで続くものである。世界全体の長期大幅排出削減に必要な技術、製品、サービス等の市場規模は安定していて巨大である。もちろん日本の成長戦略のために、従来どおり、この「約束された市場」に打って出るといふことが考えられるだろう。逆に、再生可能エネルギーによる電力の国産化という考え方も成り立つのではないだろうか?日本企業が内部留保している現預金は増加し続けており、2017年12月現在では257兆円<sup>136</sup>に上っている。政府は、この要因について、長期縮小傾向が予想される国内市場への懸念を含む「投資機会の不足」が考えられるとし

ている<sup>137</sup>。仮に、再生可能エネルギーを主力電源化した電力システムにシフトすれば、その投資額は50～100兆円規模の投資額となり、国内経済は活性化すると考えられる。さらに、一度投資した資金は、これまで輸入していたエネルギー費と引き換えに国内経済として還流することになる。

さらに、世界規模の大規模エネルギーシフトは、化石燃料産業の座礁資産化を生み出そうとしている。D. A. Koehler et al. (2018)<sup>138</sup>は、化石燃料埋蔵量(2,795 GT CO<sub>2</sub>)に埋め込まれた炭素排出量と2050年時点のカーボンバジェット(565 GT CO<sub>2</sub>)を比較すると、化石燃料埋蔵量の80%を取り出すことはできず、可燃性CO<sub>2</sub>排出量(133 GT CO<sub>2</sub>)を石油燃焼から10億バレル換算(billion barrels of oil equivalent: bboe)で、2010年から2050年に約310bboeを抽出し燃焼することになるとしている。この結果、1,185 bboeの石油が「座礁」状態になるとしている。座礁石油資産の推定1,185 bboeの価値は、100ドル/バレルとして119兆ドル(110円/ドルとして1京3,000兆円)、2017年の50ドル/バレルとしても59兆ドル(110円/ドルとして6,490兆円)である。化石資源は、燃料としてだけではなく原料としての側面もあるのですべてが座礁資産化するわけではないが、この産業に投資をしている投資家が、ポートフォリオとして別の投資先を探すことは間違いない。

すでに世界的なアセットマネジメント会社は、顧客に対して座礁石油資産についてのアナウンスを行っており、早晚、化石資源に対する投資が別の投資領域を探し出すことは明らかである。また、世界の金融機関は、それぞれの経済活動領域あるいは経済グループごとに、気候変動ファンドを組成しており、気候変動対策、とりわけ再エネ電源の開発に資金を投じていくことは疑いの余地がない。

我が国のみが世界の中で、この「約束された市場」に合致した戦略と戦術を策定しないことは、大きな過ちである。

## 第五節 農村の潜在力の活用

気候変動対策は、パリ協定の発効により生じた、継続的かつ多額の投資が必要とされる、いわば「約束された市場」である。前述のとおり、IEA (2017)<sup>74</sup>は、再生可能エネルギーへの世界規模の大規模エネルギーシフトは、新政策シナリオ(NPS)では、累積投資で60兆ドル(110円/ドルで、6,600兆円)、持続可能な開発シナリオ(SDS)では69兆ドル(110円/ドルで、7,590兆円)の新たな投資が発生するとしている。

パリ協定の締約国である日本は、自国による貢献(Intended Nationally Determined Contribution: INDC)として、2030年時点における2013年度比26.0%のCO<sub>2</sub>排出量の削減を掲げている<sup>139</sup>。進捗状況としては、130MtCo2eq/年、7.3%の削減となっており、あと14年で280Mt CO<sub>2</sub>eq(単純平均で20Mt CO<sub>2</sub>eq/年)の削減を達成しなければならない。しかしながら、このコミットメントでは、地球の気温を1.5℃以内の上昇に抑えることができないのはもちろん



んのこと、「2℃目標」の達成も困難である。しかし、現時点で政府の資料、記録等を探しても新たな方針は出ていないようである。

### 第一項 農村の持つ再生可能エネルギーの潜在力

このような状況であるからこそ、農村の持つ再エネ資源の活用を目指すべきではないだろうか？耕作放棄地 42.3 万 ha, あるいは全国の人口減少下の農村の耕作放棄地相当面積に対して、50kW のソーラーシェアリング発電を設置した場合、年間発電量は 3,140 億 kWh となり、CO<sub>2</sub>削減量は 207MtCO<sub>2</sub>/年となることは、すでに述べた通りである。因みに、この発電所の総ピーク出力は 211GWp/h (2 億 1 千百万 kW/h) となり、我が国の夏場のピーク電力需要を充分カバーできる発電能力である。我が国の CO<sub>2</sub>排出量は 1.206Gt CO<sub>2</sub>/年(2016)であるから、ポテンシャルとしてのソーラーシェアリング発電による CO<sub>2</sub>削減量は、我が国の CO<sub>2</sub>排出量の 17%に上り、一定程度の貢献を果たすことができる。

もちろん農村には、太陽光のみではなく、それぞれの農村の地域特性に合わせて、水力、バイオマス、風力や地域によっては地熱資源の利用が可能である。我が国は国土の 7 割が山地や丘陵地であり、四季を通じて降雨・降雪があることから、水力発電に適している。現在稼働中の水力発電を含めて、開発可能な水力発電所をすべて揚水発電にし、AI による需要予測と IoT を駆使し発電量をコントロールすることで、再生可能エネルギーのボラティリティーはかなりの部分吸収できるはずである。水力発電は、位置エネルギー（落差＝圧力）を利用して発電するため通常エネルギー変換効率 は 80% となり、汽力発電装置の約 2 倍の効率を有している。揚水発電においては、揚水の際にポンプ動力として 32% の電力を消費するものの、太陽光発電と水力発電の組み合わせは CO<sub>2</sub> を全く排出しないこと、LCOE が安いこと、耐久性の面でも優れていること等から、多くの農村で採用可能な再エネ発電システムである。また、貯水池にある水の総容量は、ある種のエネルギーの見える化を実現することから、インターネット、AI、センサー等と組み合わせてデマンドサイドマネージメント (Demand Side Management: DSM)、ネガワット発電所 (NegaWatt Power Generation) 等、新たなエネルギーマネージメント事業の促進にも寄与すると考えられる。今後、急速に進化発展すると考えられるデータサイエンスや深層学習の技術を駆使して、AI により供給サイドと需要サイドの変動をマネージメントすることで、発電量の予測と需要予測が可能となり、再生可能エネルギーは主要電源として十分に活用できると考えられる。

さらに、太陽光発電による余剰電力を吸収するための揚水発電所の建設、FIT 認定量が大いにも拘らず、国産材の供給がスムーズに進んでいない木質バイオマスの利活用も考えられる。現状では採算性の点から困難である林道整備についても、山頂の風力発電、谷あいの揚水発電、森林の木質バイオマス発電を総合的に整備していくことで、採算性は充分確保できると考えられる。

## 第二項 農村における地域エネルギー利用の意味

環境省（2017）は、2010年時点の推計値として、約8割に及ぶ1,346の自治体で地域内総生産の5%相当額以上、379自治体では10%相当額以上の資金が地域外へ流出している状況にあるとしている<sup>140</sup>。また、我が国が一次エネルギーの93%を海外に依存しているということは、取りも直さずそのためのエネルギー代金が海外に流出しているという事実にはほかならない。現在のエネルギー源の大半が化石燃料であるため、地域のエネルギー代金の支払いの多くが輸入代金として海外に流出しており、財務省（2014）<sup>141</sup>によると、海外に支払われているエネルギー代金の金額は28兆円に上っている。全消費エネルギーのうち発電で消費されるエネルギーは、前述の推計から33.7%である。仮に発電に供している化石燃料をすべて再生可能エネルギーに置き換えた場合、9兆4494億円（2014）もの資金が国内に留まることになる。日本全国の農村で、3,140億kWh/年ソーラーシェアリング発電を行なった際の経済波及効果は、年間約9兆9,700億円になると推計される。

農業の総産出額が9兆2,025億円（2016年）であることを考えれば<sup>142</sup>、農村の経済規模が再生可能エネルギー利用により、最大2倍に拡大することを意味している。もちろん、一朝一夕での実現は不可能であるが、パリ協定の遵守、IEAの持続可能な開発シナリオ（SDS）への寄与、日本企業に内部留保として眠る257兆円の活用等、我が国が実行するための十分なインセンティブがある。

さらには、カーボン・ディスクロージャー・プロジェクト（Carbon Disclosure Project: CDP）（資産総額100兆ドル）、UNEPから生まれた責任投資原則（Programme Principles for Responsible Investment: PRI）（資産総額59兆ドル）、欧州を基盤とする気候変動に関する機関投資家団体（Institutional Investors Group on Climate Change: IIGCC）（資産総額24兆ドル）、北米を基盤とする気候リスクに関する投資家ネットワーク（The Investor Network on Climate Risk: INCR）（資産総額14兆ドル）、気候変動に関するアジアの投資家団体（The Asia Investor Group on Climate Change: AIGCC）（資産総額7.7兆ドル）、豪州を基盤とする気候変動に関する投資家団体（Investors Group on Climate Change: IGCC）（資産総額2兆ドル）、気候関連財務情報開示タスクフォース（Task Force on Climate-related Financial Disclosures: TCFD）（資産総額86.2兆ドル）等、世界中で気候変動問題に対応する金融イニシアティブが組成されている。

世界規模での再エネ投資の拡大等、政府が2100年を見据えた綿密な政策を進めるのであれば、世界規模の大規模エネルギーシフトは、我が国にとって最良の経済再生と成長のチャンスに生まれ変わる。

全国の各農家が、一軒に100kW程度のソーラーシェアリング発電所を稼働させ、地域単位で水力発電、バイオマス発電、風力発電等を稼働させ電力収入を得ることで、地方の経済状況は大きく向上する。農村は再生可能エネルギーの宝庫である。気候変動対策、炭素生産性の向上、約束された市場等、再エネ発電事業の切り口は多様ではあるが、このことにより地域のエネルギー収支が改善し、新たな雇用が生まれ、農業・農村の持つ多面的機能が維持されると

推測される。発電事業の誕生は、発電に関連した新たな雇用を生み出すだけでなく、周辺産業における雇用を創出し、新規就農者の増加にも繋がっていくと考えられる。農家に対する発電による付加的収入は、極端な気象事象による米・果樹等の農作物への被害に対しても、生活を支える安全弁となりうる。さらに、日本中の農村で再エネ発電事業が行われるということは、電気エネルギーのネットワーク化と自立分散化を意味しており、現状の高圧側から周波数で制御する電力系統に新たな機能を付け加えることになる。実際には、地震、台風、大雨等自然災害により基幹系統からの電力供給が遮断された際でも、地域内で電源復旧できるなど国土強靱化に資することが可能である。

### 第三項 自然資本と生態系サービスのノードとしての農村

自然資本 (natural capital) という言葉が、明示的に使われたのは、「スモール・イズ・ビューティフル」が最初である。E.F.Schumacher (1973)<sup>143</sup>は、化石燃料は、自然資本であり、誰もが収入科目として扱っているが、明らかにそれは資本科目であり、さらに、人類によってではなく自然により提供される資本は、置き換え不可能な資産であり、消費し続けることで持続可能性を失うとしている。

その後、D.Pearce (1988)<sup>144</sup>、H.Daly (1990)<sup>145</sup>等が、持続可能な発展には一定の自然資本ストックが必要であるとした。Costanza et al.(1997)<sup>146</sup>は、世界の生態系サービスと自然資本の価値を計量し、市場では価格のつかない生物圏全体の価値は年間 16 兆から 54 兆ドル/年 (110 円/ドルとして、1,760 から 5,940 兆円/年) の範囲にあり、年間平均 33 兆米ドル (110 円/ドルとして、3,630 兆円/年) と推計した。当時、世界の総 GNP 額は年間約 18 兆ドル (110 円/ドルとして、1,980 兆円/年) であり、大きな衝撃を与えた。この論文は、環境科学では最も成功した論文のひとつであり、その評価方法は、後のミレニアム生態系評価 (Millennium Ecosystem Assessment: MA) へと引き継がれていく。

自然資本は、地球上の地質、土壌、大気、水、すべての生物を含む天然資源のストックである。自然資本の例としては、鉱物、水、廃棄物同化、二酸化炭素吸収、耕地、生息地、化石燃料、侵食制御、レクリエーション、景観アメニティ、生物多様性、温度調節等がある。

一方、生態系サービスは、農業生態系、森林生態系、草原生態系、水生生態系等から、人類が自然環境や適切に機能する生態系から自由に得られるメリットの総称である。サービスの性質により、食品、原材料、エネルギー資源等の供給サービス (Provisioning Services)、気候調整、洪水制御、廃棄物の分解等の調整サービス (Regulating Services)、文化的刺激、レクリエーション、エコツーリズム、バードウォッチング、科学的発見等の文化的サービス (Cultural Services)、資源利用の確保、生物多様性の維持、災害に対する備え等の保全サービス (Preserving Services) の 4 つのサービス、あるいは調整サービスを細分化し、栄養循環、土壌形成、種子の拡散、水と空気の浄化、伝染病の防御等の基盤サービス (Supporting Services) を加えて、5 つに大別する場合もある。

この自然資本が、利用可能な形で多く存在し、多くの生態系サービスを享受できるのが農村ではないだろうか。これまで、人類は生態系から受ける恩恵を、金銭的価値で考えることがなかった。特に我が国においては、人々は自然との調和を図りながら、折り合いをつけて暮らしてきた。今後、気候変動のリスクがより多くの人々に認識されるようになると、カーボンプライシングだけではなく、自然資本を製造コストに算入したり、そのコスト相当分を CSR の形で農村に還元する施策が行われる可能性もある。

農村は、気候変動の進展により不可逆的な影響を受けた際に、その構成要素である森、里、川、海等の自然が大きな影響を受けることになる。もちろん、食料や資源の供給基地としての機能にも影響があると推察される。一方、農村には、太陽光、水力、バイオマス、風力、地熱等の再エネ資源が豊富に存在している。再生可能エネルギーの事業化は地域エネルギー収支の改善のみではなく、エネルギーの地産地消の実現、新たな雇用の創出、人口の回復、高齢化への歯止め等を通じて、農村の持つ多面的機能を維持・再生・強化していく可能性がある。これまでに建設されたメガソーラー発電所の中には、森林を広範囲に渡り伐採・抜根し、発電開始したものも多く見受けられる。しかし、ソーラーシェアリング発電であれば、農村の景観と農業生産量を大きく変えることなく、LER を飛躍的に高めることができる。

気候変動のリスクが高まる昨今においては、こうしたいわゆる自然の恵みを享受し、地域における健全な経済社会活動を続けるためにも、より積極的に自然資本と生態系サービスの価値について評価し、告知していくことが重要である。また、自然資本は、これまでもグリーン・ツーリズム、エコツーリズム等を通じて、地域の独自性に基づく高付加価値な財・サービスを生み出し、地域外から人を呼び込む機能を果たしてきた。さらに、その地域の生態系サービスの結果として、発電の事業化により経済的循環の規模が大きくなることで、QOL (Quality of Life) 向上にもつながり、新たな農村のライフスタイルを獲得できる可能性がある。

## 第六節 気候変動と防災そして安全保障

農村を再生可能エネルギーの拠点へと変革していくことは、気候変動のリスクを小さく留めるための方法のひとつである。気候変動問題は、2000年以降、政府においても国家における安全保障の観点からも議論されている。近年では台風や線状降水帯によって発生する大雨、洪水等の風水害が増えている。激甚災害の指定件数も増加しており、保険金支払額も大きい。また、極端な気象事象による米・果樹等の農作物への被害、気候変動と高齢化の進展による熱中症や感染症の増加等、今後、気象や気候変動の影響がさらに甚大になる可能性がある。

国土強靱化基本法（2013）<sup>147</sup>の前文には、「我が国は、地理的及び自然的な特性から、多くの大規模自然災害等による被害を受け、自然の猛威は想像を超

える悲惨な結果をもたらしてきた。我々は、東日本大震災の際、改めて自然の猛威の前に立ち尽くすとともに、その猛威からは逃れることができないことを思い知らされた」と記されている。この法律は、必要な事前防災及び減災等の施策を総合的かつ計画的に実施することを目的としている。同時に、国際競争力の向上に資することに鑑み、大規模自然災害等からの国民の生命、身体及び財産の保護並びに大規模自然災害等の国民生活及び国民経済に及ぼす影響の最小化への評価を行うこと等を通じて、施策を策定し、国の計画として行くとしている。

つまり、自然災害が多く発生する我が国において、経済効率を優先した形で強靱化のための投資をすることを明言している。もちろん、土木工事のみで、人口密度の低く広大な農村に、自然災害からの被害を最小化する施策を講じ続けることは、経済効率の観点から言えば非常に困難である。人口が減少し、経済規模が縮小する社会においては、防災対策の工事予算も縮減されると考えられる。農村は、そこで生活し活動する人々や共同体があるからこそ保全されているのであり、農村と農業の持つ多面的機能が発揮されるのである。これまでは、人々がその土地に暮らし生活し農を生業とすることで、国土は美しく保たれてきた。農村の自然資本を活かしながら災害に強く美しい風景を保つためには、人の手の入った人工的な自然景観を維持したうえで、良質な生態系サービスを受けることが、最も投資効率がよく、経済効率が高いと推察される。

## 第七節 SDGs への寄与

国連サミットは、2015年9月、「持続可能な開発のための2030アジェンダ<sup>148</sup>」を採択した。これは、2016年～2030年までの国際目標で、持続可能な世界を実現するための17のゴールと169のターゲットから構成され、地球上の誰一人として取り残さないこと（leave no one behind）を目指している。SDGsは発展途上国にのみ限定される問題ではなく、先進国に暮らす人々一人ひとりを含めた宇宙船地球号のすべての住民が、取り組むべき普遍的な課題である。

このSDGsの実現への取り組みが世界で行われることになるが、その中で重要なのはあらゆる地域において電力を確保することにより、情報の取得、外部とのコミュニケーションの活性化、安全・衛生の確保、教育の充実等が実現できることである。すでに無線通信網は、電力網を上回る範囲で地球をカバーしている。あとは、通信を行うための電力が用意できれば、SDGsは大幅に前進することができるのである。そして、ソーラーシェアリング発電は、農業生産と電力の生産を同時に実現できる方法であり、電力系統の整備されていない地域であっても電力供給が可能となる。

2016年時点で電気のない生活を送っている人は、世界人口の13%、10億人弱と見られている<sup>149</sup>。近年は、サブサハラ以南のオフグリッド地域において、家庭用にA4サイズ程度の小型太陽光パネルとバッテリー、コントローラーの組み合わせで、2.5W～50Wの電力を供給するサービスが拡大している。しか

し、小さい電力でも LED 照明とスマートフォンを起動させることはできるが、灌漑用水や水質浄化設備を稼働させるにはパワー不足である。そこで、ソーラーシェアリング発電と水田用灌漑ポンプ、太陽光点滴灌漑 (PhotoVoltaic Drip Irrigation: PVDI)、水質浄化設備等を組み合わせることで、オフグリッド地域においても効率的な食料生産が可能となる。

我が国は、ソーラーシェアリング発電を農業とファイナンスをパッケージにして輸出することで、SDGs に貢献することが可能となる。低開発国や電力系統の存在しない地域の中には、日照条件が良すぎるため農作物の育成が難しい地域も存在することから、労働環境面の改善面でも農作物の育成環境面でも、ソーラーシェアリング発電は適していると考えられる。

## 終章 ゼロ炭素社会における持続可能な成長を目指して（結論）

### 第一節 日本はどこで道に迷ったのか？

ここで今一度、なぜ日本が成長できなくなったのかについて考えてみたい。

日本の戦後の高度経済成長は、官主導で行われた。大蔵省と通産省の両輪が、日本経済を高度経済成長へとドライブしていった。日本政府は規制当局によって、銀行と保険を支配・管理し、通産省は自動車・家電産業への傾斜投資により経済を成長させた。大蔵省は、預金や貸出金の金利、保険商品の設計と価格設定、銀行業と保険業への参入の完璧なコントロールすることで、事実上利益を保証した。銀行は、短期貸付対長期貸出、全国規模の運営対地域及び地方の制約付き事業、及び大企業への貸付と中小企業との非常に狭い商圏に区分された。そのような保護された収益性の高いニッチ市場が付与されるのと引き換えに、銀行と保険会社は、信用供与に関する政府の正式及び非公式の信号に注意を払うことに注力していた。銀行は多くの融資について独自の決断を下し、アドバイスや市場のシグナルに従うとは限らなかった。

E.J.Lincoln (1998)<sup>150</sup>は、バブル崩壊前後の日本の金融状況を以下のように分析している。米国では、銀行残高は GDP の約 50% を占めており、時間の経過と共に緩やかに減少している。日本では、1980 年の GDP の 143% から 1995 年には 206% に増加し、1996 年には 201% にやや減少した。これらの日本の比率は、政府の貸付機関による貸付を含んでいる。民間部門機関だけでも、1980 年に GDP の 105%、1995 年には 147%、1996 年には 141% に借り手残高があった。1996 年に日本政府が認可した銀行の融資残高に関するその他のデータは、融資比率は GDP に対して 98% をやや下回る程度である。しかし、この数字には、中小の銀行や財務省の管轄下でない農協やその他の地方金融機関は除外されているとしている。

改めて、驚かされる数字である。このように、高度に管理された日本の金融システムは、戦後、貯蓄者を資金需要者に結びつける機能を果たした。世帯は貯蓄を銀行預金と保険契約に入れ、銀行と保険会社は、政府主導により融資を金融業界に吸い上げることに成功した。この政策により、経済は 1950 年～1973 年にかけて平均でほぼ 10% 成長した。このことは、国民が資金が政府により有効に使われることを信じていたことを示す証左と言える。松下幸之助は、この政府の金融還流システムを自社と販売店網に利用することで成功を取めた。実際のところ、中国は日本のこの戦後復興モデルを忠実に再現し、さらに問題点については修正することで成功した。その結果は、現在の中国の GDP が示している。つまり、日本の金融システムは、戦後においても米国型の金融市場とは全く違ったものであったし、あたかも日本人は戦前の統制型の経済システムが変わらないことを望んでいたかのようさえある。

B.M.Friedman (1998)<sup>151</sup>は、日本のバブル崩壊に対する処理を次の 3 点で問題があると指摘している。まず第一に、そして最も重要なことは、「遅延はコ

ストがかかる」ということである。個々の機関の破産を決済するための1ドル当たりの費用を決定する最も強力な要因は、破産の特定とその解決の間に経過した月数である。第二に、不動産価格に対する担保販売のマイナスの影響は、市場参加者が懸念していたものよりも少なかったため、より費用が膨らんだことである。第三に、破綻した機関を排除することこそが、生き残った者の競争環境を改善するという事実である。

この3点からの教訓は、未だに活かされてはいない。日本の官僚システムは過去の過ちを認めたくないという慣習の呪縛を受けている。データに基づく、正しい未来の選択よりも、過去に自分の所属する組織がミスを犯していなかったことを証明することに、より業務の労働力を投入することを好むように見える。2017年に端を発した、公文書の改ざん問題には、その特徴が強く現れている。しかし、システムが疲労し、これ以上の生産性を生まないことが明らかなきときには、戦略の転換が必要であるが、現状の官僚システムには自らのレゾネーブルの変革を求めるのは困難であろう。

## 第二節 日本の現状を再認識する

現在、日本は人口減少傾向にあり、農山漁村では急速に過疎化と高齢化が進展している。農業・農村の持つ多面的機能は、日本の風土と文化を生み出し支えてきた社会の下部構造であり、日本文化を醸成するための孵卵器である。この機能の維持・発展のためには、農村における健全な経済成長、労働機会・環境の充実等の方策が不可欠である。一方、我が国の農山漁村は、再生可能エネルギーの宝庫であり、未利用・未活用の資源を活かすことで農山漁村は新たなライフスタイルを獲得できる可能性がある。

全球規模での脱化石燃料、気候変動対策はますます重要な世界的課題となり、パリ協定は、地球平均気温を工業化以前のレベルから2°C上昇を十分に下回り、1.5°C以内に抑えるために温暖化ガスの総排出量を抑制する必要があるとしている。しかし、IPCC第5次評価報告書において、地球の平均気温を2°C以内に保つためのカーボンバジェットの総量は2.9兆トンCO<sub>2</sub>であるが、1870年～2011年までですでに65%にあたる1.9兆トンCO<sub>2</sub>を排出しており、人類に残された排出量が1兆トンCO<sub>2</sub>であることを報告している。

2011年の東日本大震災と福島第一原子力発電所事故を受けて、翌年施行された「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（FIT法）」により、再生可能エネルギーによる発電事業は発電市場という新たな市場を活性化させている。再生可能エネルギーの活用は、事業者に利益をもたらすだけでなく農山漁村のコミュニティの維持と再生の可能性があり、同時に地球温暖化防止に寄与するものである。

我が国は、戦後経済成長の過程で、エネルギー資源のほとんどを海外からの輸入に依存してきた。2度に渡るオイルショックの経験から、原子力、石油、石炭等のエネルギーミックスと省エネルギーの両面からこの問題を乗り越えて



来た。しかし、全球規模での工業化の進展により、脱化石燃料、温暖化対策はますます重要な世界的課題となっている。2016年に発効されたパリ協定は、地球平均気温の上昇を工業化以前のレベルである2°Cを十分に下回り、1.5°C以内に抑える努力を追求するための温暖化ガスの総排出量になるよう真剣に考慮する必要があるとしている。しかし、IPCC第5次評価報告書において、地球の平均気温を2°C以内に保つためのカーボンバジェットの総量は2.9兆トンCO<sub>2</sub>であるが、1870年～2011年までですでに65%にあたる1.9兆トンCO<sub>2</sub>を排出しており、人類に残された排出量が1兆トンCO<sub>2</sub>であることを報告している。

国内においても、2012年のFIT法に続き、2013年3月31日、農林水産省は農村振興局長名で太陽光発電設備の農地転用許可取扱いについて通達した。この通達により営農型発電設備（ソーラーシェアリング発電）が一定の条件下で認められ、農業収入に加えて、売電収入を得て農家所得を増加させることが可能となった。また、2014年には農山漁村再生可能エネルギー法（農村再エネ法）が施行され、農山漁村における大規模な再生可能エネルギー利用への道が開けた。

脱炭素社会実現に向けて、今世紀中盤まで世界中で再生可能エネルギーへの投資が行われる。なぜなら、気候変動緩和に遅れることは、後々、更なるペナルティを払うことを意味しているからである。これは地球規模で行われる一大産業変革であり、どの地域にも例外がない。それゆえに、この機会を逸してはならない。

### 第三節 農業と発電を農村で行う意義

本研究においては、再エネ活用による農村の多面的機能の維持・発展への寄与と地球温暖化防止への貢献の定量化、政策上の課題を明らかにすることを目的としている。

ソーラーシェアリング発電は、光飽和点の特性により耕作地や牧草地の剰余の太陽光線から農産・畜産物を守ると同時に、電力を得る発電方法である。本研究では、つくば市でソーラーシェアリング発電を行なうT発電所の現地調査をベースにソーラーシェアリング発電の経営分析を行なった。調査の結果、10aの農地において、50kWの発電設備を設置することができ、運転維持費や金利・租税公課を差し引いても、極めて高い収益性を示すことから、農家の経営に対して大きなメリットをもたらしていた。売電単価は毎年低下しているものの、設備コストも低下しており、買取価格が減少したとして依然収入を見込むことができる。ソーラーシェアリング発電は、一般的な太陽光発電に比べ用地取得、土地の整備、税金面等で経済的な強みを持ち、均等化発電原価

（LOCE）はメガソーラー並みの価格競争力を有しており、半導体である太陽光モジュールの世界的な価格低下により資本的支出（CAPEX）も漸次下落傾向にあり、買取価格が低減した場合でも、今後も収入を見込むことができる。

2017年3月末時点で、産業用太陽光発電の認定件数46万5千件のうち、農地転用による太陽光発電は3万8千件(8.2%)であるが、ソーラーシェアリング発電の設備認定状況は1,269件で、産業用太陽光発電全体の0.3%弱と極めて低い。この理由として、制度の未周知以外にも、①売電契約を締結するには20年間の売電と同時に営農を確約することになり、高齢農家にとっては将来的な約束が負担で困難であること、②農地の一次転用の見直しが3年毎にあるため(2018年より10年毎に改定)、事業の継続性を証明し難く金融機関の融資が受けにくいこと、③下部の農地において発電以前の収量の8割を確約するための科学的知見が乏しいこと等が、農家にとって事業化へのボトルネックとなっている。

ソーラーシェアリング発電は、食料自給率が38%まで落ち込んでいる我が国農業において、農業経営を安定化させる特徴を有する。各農業経営体が100kWのソーラーシェアリング発電をおこなったと仮定すると、発電容量は1億2,580万kWとなり、総排出量12億トンCO<sub>2</sub>(2016)の10.2%、発電部門CO<sub>2</sub>排出量の30%に相当する。さらに、水力、バイオマス、風力等の再エネ発電を併せた場合、4億8,400トンのCO<sub>2</sub>を削減し、発電部門のCO<sub>2</sub>排出量をカバーする。

#### 第四節 ソーラーシェアリング発電の政策課題

農業人口が減少し、農業従事者の急速な高齢化が進展する中で、持続可能な営農をサポートしうるソーラーシェアリング発電の位置づけは重要である。ソーラーシェアリング発電は農業経営に新たな付加価値を補填し、経営の安定化を促す可能性がある。また同時に、CO<sub>2</sub>の排出量を削減し、気候変動緩和に寄与する。そのためには、次のような制度的、技術的に克服すべき幾つかの課題がある。

- ① 農業における売電事業の将来ビジョンの明確化、制度の維持、安定性の確保である。

例えば、10kW未満の太陽光発電の買取価格は28円/kW(2017年度)であり、産業用太陽光発電の買取価格より7円/kW高い。農業振興とソーラーシェアリング発電の普及を進めるために、ソーラーシェアリング発電の買取価格を10kW未満の家庭用レベルに引き上げられないだろうか。あるいは、英国のソーラーファーム見られるようなFITプラスアルファのインセンティブ制度の充実である。こちらは営農継続と食料自給率向上の観点から、制度化が可能ではないだろうか。

- ② ソーラーシェアリング発電に適合する栽培技術や栽培方法ノウハウの確立による技術的進歩である。

これまでにソーラーシェアリング発電で収穫量が減少するという報告が存在しないのは、太陽光モジュールを設置した「下部の農地」における光飽和点と環境温度等の総合的な環境が植物の生育に適している場合が

多いからかも知れない。だとすれば、陰性植物に限らず、「下部の農地」での最適な栽培技術を開発することで発電と営農の最適化を図ることができるのではないか。これらの栽培技術や栽培方法を確立するためには、公立農業試験場、大学、民間研究機関等での定量的な解析が待たれるところである。

- ③ 今後も進む発電モジュールのコストダウンと工事件数の増加による発電システムのコストダウンである。

発電モジュールは半導体であるため、今後も性能の向上とコストダウンの両立が可能である。IRENA (2016) <sup>152</sup>は、2025年の太陽光発電のシステム価格を800USD/kW(110円/ドルで、8万8千円/kW)以下と設定しており、2015年のシステム価格の65%~43%の達成を目指している。このような限界コストを目指していった場合、構造面、造成費用、税金面で優れているソーラーシェアリング発電は有効な選択肢である。今後部材のキット化により、少ない工程数でのソーラーシェアリング発電の設置が可能になれば、ソーラーシェアリング発電の競争力が増すと考えられる。

- ④ 食料自給率の向上を含めた健全な営農を、如何に我が国の再生可能エネルギー政策の中で明確に位置付けるかである。

農業は治水や国土保全の意味からも、必ず誰かがやらなければならない。このためには新規就農者を増やすことが不可欠である。この問題の解決策として、新規就農者がソーラーシェアリング発電を開始しやすい制度や環境への政策的援助が有効である。新規就農者が農業に参入したとしても直ちに商品となる農産物の生産にはリスクがある。ここにソーラーシェアリング発電からの収入があれば、農業への新規参入のリスクを大きく低減することが可能である。

- ⑤ 食料生産とエネルギー生産によるLER向上に対するファイナンススキームの提供である。

現在、過疎化と高齢化が進行している地域において、個々の農業経営体が、各自のリスクで発電事業に投資することの心理的ハードルは高い。そこで、集落営農組織などを通じて地域単位でエネルギー生産を行い、必ずしも個人でなくともノンリコースローンでエネルギー事業を開始できるファイナンススキームが提供できれば、農村における再生可能エネルギー活用は活性化すると考えられる。

- ⑥ 発電事業あるいは営農を途中で中止する際の法律の整備である。

この点については、現行の制度の中では極めて不明瞭である。発電事業であることを考慮すれば、事業主体の交代による契約期間内の事業の継続が前提となると思われるが、農業従事者が農業をできなくなった場合の営農の継続について明らかになっていない。

## 第五節 ゼロ炭素社会実現に向けての農村をコアとする政策提言

上述の課題に加えて、もっと大きな潮流を捉えることも重要である。

農林水産省（2018）<sup>153</sup>によると我が国には444万haの農地があるが、この8%でソーラーシェアリング発電が行われれば、夏場の日中ピーク電力（157GW 2011年）を賄えると推計されるため、その意義は大きい。原子力発電所において一度事故が起これば、国民全体が大きな被害を受けるが、その中でも農業従事者は長期に渡り甚大な被害を被る。このことについては、私たちは忘れるべきではないであろう。

現在のエネルギー源の大半が化石燃料であるため、地域のエネルギー代金の支払いの多くが輸入代金として海外に流出しており、その金額は28兆円に上っている（財務省、2014）。全消費エネルギーのうち発電で消費されるエネルギーは、前述の推計から33.7%である。仮に発電に供している化石燃料をすべて再生可能エネルギーに置き換えた場合、9兆4494億円もの資金が国内に留まるとともに約10兆円の経済効果を生み出す。

農業の総産出額が9兆2025億円（2016年）であることを考えれば、農村の経済規模が再エネ利用により約2倍に拡大することを意味している。もちろん、一朝一夕での実現は不可能であるが、パリ協定の遵守、IEAの持続可能な開発シナリオ（SDS）への寄与、日本企業に内部留保として眠る257兆円の活用、世界中で組成されている気候変動金融イニシアティブの活用、世界規模での再エネ投資の拡大等、政府が2100年を見据えた綿密な政策を進めるのであれば、世界規模の大規模エネルギーシフトは、我が国にとって最良の成長のチャンスに生まれ変わるのである。

今後、地域により農村の状況は異なるとはいえ、農村において再生可能エネルギー資源が豊富に存在することには変わりはない。この資源を活用し、農村が食料生産とともにエネルギー生産により収入を増やすことは、地域内経済の活性化をもたらし、ひいては農村の多面的機能の維持再生に繋がるものである。また、食料とエネルギーを同時に生産することで雇用の幅が広がり、新たな仕事・雇用を生み出すため、労働力人口の域外流出を食い止めるだけでなく、農村のすぐれたQOLをきっかけとして新規移住者も期待できる。

農山漁村で利用可能な再生エネ資源である小水力、太陽光発電、風力、バイオマス、バイオガス、地熱等について、IEAが新たに提唱する「持続可能な開発シナリオ（SDS）」を達成するための制度や施策を充実させることで、GHGの排出量の削減と農山漁村の多面的機能維持を両立させることが可能である。

農山漁村において再エネ発電事業を梃子に新たな村落共同体のライフスタイルを模索することは、農村と森林の持つ多面的機能を維持・発展させ、日本の安定的な発展を支えるだけでなく、地球環境の保全、SDGsの実現に繋がる重要な政策となりうる。この意義を我が国のエネルギー政策と農業政策において明確に位置づけ、このシステムの技術的、経営的、制度的課題を克服するための体系的な政策支援が必要である。



## 謝辞

本論文は、筆者が東京農工大学大学院連合農学研究科の博士課程において行った研究成果をまとめたものです。この間、中川光弘教授におかれましては、農村における食料生産とエネルギー生産の融合による村落共同体の再生という筆者の研究テーマを暖かく見守っていただき、論文のとりまとめに至るまで、ご指導ご鞭撻を賜りました。心より厚く御礼申し上げます。

また、ご指導いただきました東京農工大学農学研究院・朝岡幸彦教授、茨城大学農学部・内田晋准教授に深甚の謝意を表します。研究成果のとりまとめにあたって多くのご教示を賜りました柳島宏治先生、中村耕二郎先生、白石知良先生、石部顕先生には、ディスカッションを通じてさまざまな貴重なご意見を頂戴し、ご指導ご鞭撻を賜りました。心より御礼申し上げます。

東京農工大学大学院連合農学研究科に在籍中は、本研究を進めるに当たり、日頃より中出真氏を始めとする研究室の皆さまのご支援、ご助力を賜りました。NPO 農都会議代表理事杉浦英世氏を始めとする農都会議の皆さまには、修士課程の頃より、農都会議が主催する数々の勉強会を通じて国の政策、実際の事業者の声、今後の再生可能エネルギーのあり方等、今、世の中で起こっている事柄とこれから起こる事柄の情報とデータを共有させて戴きました。

何よりも、現地調査におきましては、ソーラーカルチャーの松岡顕氏に大変お世話になりました。松岡氏の貴重なデータ無しには、本研究は完遂することは出来なかったろうと思います。また、ソーラーシェアリング発電を事業化している農業経営体の方々、設置工事に関わるEPCの方々、ファイナンス面から事業を推進するの方々には貴重な意見を戴きました。さらには、インターネット上で出会った世界中の研究者の皆さまのディスカッションとアドバイスに感謝いたします。

日頃より論文執筆に叱咤激励を戴いた高知工科大学副学長・清水明宏博士、田中征治氏、栃本京子女史に厚く御礼申し上げます。また、長期に渡り継続的なご支援を戴きました友人の山口義成氏、村松恒平氏に感謝いたします。加えて、データドリブンな社会の有効性とデータの取扱について示唆を与えていただいたデータサイエンティスト協会代表理事の草野隆史氏並びに協会関係者の皆さまに感謝いたします。モンゴルにおいて貴重なインタビューの機会を作ってくれた日本モンゴル親善協会の柳澤徳次理事長に感謝いたします。その他、各関係者の皆さまに感謝の意を記したいと思います。

最後に、本研究の遂行にあたってご協力を賜りました東京農工大学大学院連合農学研究科の諸先生方、並びに、遅々として進まず落ち込みがちな筆者を支えてくれた先輩、後輩、友人の皆さま、両親と家族、そして最後まで励ましてくれた妻に、心より感謝したいと思います。

本当にありがとうございました。

## 参考文献

- <sup>1</sup> 総務省, 2016, 「情報通信白書」, pp.2
- <sup>2</sup> J. Scobie et al, 2015, “Global AgeWatch Index 2015: Insight report”, pp.6
- <sup>3</sup> 農林水産省, 1961, 「農業基本法」
- <sup>4</sup> 農林水産省, 2009, 「食料・農業・農村基本法」
- <sup>5</sup> 大川昭隆, 2012, 「基本計画から見た農林水産政策の方向」, 『立法と調査』, pp.94
- <sup>6</sup> 祖田, 太田, 佐藤ら, 2001, 「地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について」, 日本学術会議『政府答申』, pp.9,10,13,28
- <sup>7</sup> 農林水産省, 2015, 「食料・農業・農村基本計画」, pp.13-24
- <sup>8</sup> 農林水産省, 2017, 「農林水産統計 平成 29 年耕地面積 (7 月 15 日現在)」, 農林水産省大臣官房統計部
- <sup>9</sup> 農林水産省, 2017, 「農林水産統計 平成 29 年農業構造動態調査 (2 月 1 日現在)」, 農林水産省大臣官房統計部
- <sup>10</sup> International Monetary Fund, 2018, “GDP per capita, current prices Purchasing power parity; international dollars per capita, Japan, Singapore”, “World Economic Outlook Database”
- <sup>11</sup> UNFCCC, 2015, “ADOPTION OF THE PARIS AGREEMENT”
- <sup>12</sup> D. A. Koehler, Bruno Bertocci, 2018, “Stranded Asset: What lies beneath”, 2018, UBS Asset Management, pp.2-4
- <sup>13</sup> IPCC, 1988, “Principles Governing IPCC Work”, pp.1-2
- <sup>14</sup> IPCC, 2014, “Climate Change 2014 Synthesis Report”, pp.39-54
- <sup>15</sup> IPCC, 2014, “Climate Change 2014 Synthesis Report”, pp.63
- <sup>16</sup> 総務省, 2017, 「平成 29 年度版 情報通信白書」, pp.170
- <sup>17</sup> 内閣府, 2017, 「平成 29 年度版 高齢社会白書」, pp.2-3
- <sup>18</sup> 橋詰登, 2015, 「人口減少下における農業集落の変容と将来展望 - 集落構造の動態分析と存続危惧集落の将来予測 -」, 『農村の再生・活性化に向けた新たな取組の現状と課題 - 平成 24~26 年度「農村集落の維持・再生に関する研究」報告書 -』, 農林水産省, pp.33-34
- <sup>19</sup> 内閣府, 2017, 「平成 29 年度版 高齢社会白書」, pp.2-6
- <sup>20</sup> 資源エネルギー庁, 2018, 「平成 29 年度エネルギーに関する年次報告」, pp.136
- <sup>21</sup> IPCC, 2013, “Climate Change 2013 The Physical Science Basis”, “the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”
- <sup>22</sup> 気象庁, 2018, [http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an\\_jpn.html](http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn.html)
- <sup>23</sup> IPCC, 2014, “Climate Change 2014 Synthesis Report”, pp.2-13
- <sup>24</sup> IPCC, 2014, “Climate Change 2014 Synthesis Report”, pp.8
- <sup>25</sup> IPCC, 2013, “Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, pp.27-28
- <sup>26</sup> 環境省, 1993, 「環境基本法」
- <sup>27</sup> 資源エネルギー庁, 2017, 「2015 年におけるエネルギー需要実績 (確

- 
- 報)」, pp.6-7
- <sup>28</sup> UNFCCC, 1997, 「京都議定書」
- <sup>29</sup> IEA, 2017, “World Energy Balances 2017”, IEA, IEA Publications, pp.5
- <sup>30</sup> 環境省, 2017, 「平成 29 年版 環境・循環型社会・生物多様性白書」, pp.35
- <sup>31</sup> UNFCCC, 2015, “ADOPTION OF THE PARIS AGREEMENT”
- <sup>32</sup> 内閣府, 2016, 「地球温暖化対策計画 平成 28 年 5 月 13 日 閣議決定」, pp.4,6,9
- <sup>33</sup> 有馬純, 2015, 「カーボンバジェットについて考える」, 『パリ協定を踏まえた日本の戦略』, 国際環境経済研究所,
- <sup>34</sup> 原沢英夫, 2015, 「国内外の異常気象等の状況について」, 国立環境研究所, pp.6
- <sup>35</sup> World Meteorological Organization (WMO), 2018, “WMO Statement on the State of the Global Climate in 2017”, pp.3, 17-27
- <sup>36</sup> A.Collins et al., 2018, “The Global Risks Report 2018, 13th Edition”, World Economic Forum, Geneva, pp.12
- <sup>37</sup> International Monetary Fund, 2017, “World Economic Outlook 2017”, pp.125-128
- <sup>38</sup> 総務省, 2017, 「平成 29 年度版情報通信白書」, pp.170
- <sup>39</sup> 総務省, 2015, 「国勢調査」, 「労働力調査」等より
- <sup>40</sup> 農林水産省, 2017, 「社会情勢の変化を踏まえた次世代の農業・農村の構築について」
- <sup>41</sup> 橋詰登, 2015, 「人口減少下における農業集落の変容と将来展望-集落構造の動態分析と存続危惧集落の将来予測-」, 『農村の再生・活性化に向けた新たな取組の現状と課題-平成 24~26 年度「農村集落の維持・再生に関する研究」報告書-』, 農林水産省, pp.30, 45-49
- <sup>42</sup> 内閣府, 2017, 「平成 29 年版高齢社会白書」, pp.2-5, 10-12
- <sup>43</sup> 南武志, 2016, 「2008SNA への移行と注意点」, 『金融市場 2016 年 12 月号』, 農林中金総合研究所, pp48-49
- <sup>44</sup> International Monetary Fund, 2018, “World Economy Outlook 2018 Database”
- <sup>45</sup> OECD, 2016, “Level of GDP per capita and productivity: Level of GDP per capita and productivity - most recent year”, OECD Stat.
- <sup>46</sup> 内閣府, 2013, 「経済の好循環実現検討専門チーム中間報告」, pp.1-3, 5, 7-9, 15-18, 20-25
- <sup>47</sup> 首相官邸, 2017, 「働き方改革実行計画(案)」, pp.1-2, 4-6, 24, 26-27, 29-33
- <sup>48</sup> 内閣府, 2013, 「経済の好循環実現検討専門チーム中間報告」, pp.4
- <sup>49</sup> 内閣府, 2015, 「平成 27 年度年次経済財政報告-四半世紀ぶりの成果と再生する日本経済-」, pp.147
- <sup>50</sup> G.Desvaux et al., 2015, “The Future of Japan: Reigniting Productivity and Growth”, The McKinsey Global Institute (MGI), pp.1-4
- <sup>51</sup> L.Alcorta et al., 2014, “The Future of Manufacturing: Driving Capacities, Enabling Investments”, World Economic Forum, Geneva, pp.5-6
- <sup>52</sup> L.Alcorta et al., 2014, “The Future 3 万 8 千件 (8.2%) 3 万 8 千件





- 
- 発電開発戦略 (NEDO PV Challenges)」、pp.3, 57, 89
- <sup>77</sup> 資源エネルギー庁, 2017, 「入札対象として指定をする再生可能エネルギー発電設備の区分等における入札の実施に関する指針 (平成二十九年経済産業省告示第六十三号)」
- <sup>78</sup> 一般社団法人低炭素投資促進機構, 2017, 「第1回入札 (平成29年度)の結果について」(2017年12月26日更新)
- <sup>79</sup> 一般社団法人太陽光発電協会, 2018, 「FIT入札」に関するアンケート調査」
- <sup>80</sup> 一般社団法人日本風力発電協会, 2018, 速報値  
<http://log.jwpa.jp/category/0000027525.html>
- <sup>81</sup> Global Wind Energy Council, 2018, “Global Wind Statistics 2017”, pp.1-2
- <sup>82</sup> 経済産業省, 2017, 「平成28年度エネルギーに関する年次報告」, pp.174-175
- <sup>83</sup> 安田, 2018, 「基幹送電線の実潮流分析と考察」, pp.12-19  
Y.Yasuda et al., 2014, “An Objective Measure of Interconnection Usage for High Levels of Wind Integration”, pp.1-3
- <sup>84</sup> 林野庁, 2012, 「発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン」
- <sup>85</sup> 林野庁, 2015, 「森林・林業・木材産業の現状と課題」
- <sup>86</sup> 資源エネルギー庁, 2017, 「再生可能エネルギーの大量導入時代における政策課題と次世代電力ネットワークの在り方」
- <sup>87</sup> 資源エネルギー庁, 2015, 「長期エネルギー需給見通し(エネルギーミックス)」
- <sup>88</sup> 林野庁, 2016, 「森林・林業基本計画」
- <sup>89</sup> 資源エネルギー庁, 2018, 「事業計画策定ガイドライン (バイオマス発電)」, 2017年3月策定, 2018年4月改訂
- <sup>90</sup> 資源エネルギー庁, 2016, 「再生可能エネルギー各電源の導入の動向について」
- <sup>91</sup> バイオガス事業推進協議会, 2017, 「バイオガス発電における現状と要望」, バイオガス推進協議会
- <sup>92</sup> 資源エネルギー庁, 2012, 「平成23年度エネルギーに関する年次報告」(エネルギー白書2012), P126
- <sup>93</sup> 資源エネルギー庁, 2018, 「電力調査統計 電気事業者の発電所数, 出力」
- <sup>94</sup> C. Penche et al., 2005, “Guide on how to develop a small hydropower plant”, Europe Small Hydropower Association: ESHA, 2005, p7
- <sup>95</sup> 資源エネルギー庁, 2012, 「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」
- <sup>96</sup> 環境省, 2011, 「平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書」, 株式会社エックス都市研究所 アジア航測株式会社 パシフィックコンサルタンツ株式会社 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社, pp.156, 161, 172, 177, 187, 193
- <sup>97</sup> 資源エネルギー庁, 2017, 「再生可能エネルギー各電源の導入の動向について」
- <sup>98</sup> 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 2017, 「再生可能エネルギー技術白書第2版」, pp.456-458,486
- <sup>99</sup> 長島彬, 2004, 『ソーラーシェアリング導入における知見資料としての「実証試験結果報告」』 . pp.2

- 
- <sup>100</sup> 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：NEDO, 2015, 「NEDO 標準気象データベースの解説書」, NEDO 新エネルギー部 太陽光発電グループ, 一般財団法人日本気象協会編  
日照量データベース閲覧システム <http://app0.infoc.nedo.go.jp/>
- <sup>101</sup> 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：NEDO, 2014, 『太陽光発電開発戦略』. 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構. pp.2-3, pp.56-58
- <sup>102</sup> 資源エネルギー庁調達価格等算定委員会, 2018, 「平成 30 年度以降の調達価格等に関する意見」, pp.8-9
- <sup>103</sup> 資源エネルギー庁, 2018, 「FIT 発電事業の適正化」, pp.9
- <sup>104</sup> 資源エネルギー庁, 2016, 「電源種別(太陽光・風力)のコスト動向等について」, pp.24
- <sup>105</sup> 資源エネルギー庁, 2016, 「平成 29 年度以降の調達価格等に関する意見(案)」, pp.7
- <sup>106</sup> S.Weckend, A. Wade, G.Heath, 2016, “End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels”, International Renewable Energy Agency(IRENA) and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems(IEA-PVPS), pp.25-32
- <sup>107</sup> 農林水産省, 2007, 「露地野菜作経営データ」, 『農業経営統計調査品目別経営統計』, 農林水産省
- <sup>108</sup> 農林水産省, 2018, 「営農型太陽光発電設備の現状について」, pp.3
- <sup>109</sup> IRENA, 2018, “Renewable Power Generation Costs in 2017”
- <sup>110</sup> 太陽光発電競争力強化研究会, 2016, 「太陽光発電競争力強化研究会報告書」, 資源エネルギー庁, pp.8
- <sup>111</sup> 農林水産省, 2018, 「営農型太陽光発電設備の農地転用許可上の取扱いの変更について」
- <sup>112</sup> 官邸, 2016, 「地球温暖化対策計画における対策の削減量の根拠」, pp.9, 58, 120, 153
- <sup>113</sup> 農林水産省, 2017, 「荒廃農地の現状と対策について」
- <sup>114</sup> C.Dupraz et al., 2011, “Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes”, “Renewable Energy An International Journal”, pp.2726-2731
- <sup>115</sup> Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2017, “Harvesting the Sun for Power and Produce –Agrophotovoltaics Increases the Land Use Efficiency by over 60 Percent”, [https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/press-releases/2017/2017\\_ISE\\_e\\_PR\\_1yearAPV.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/press-releases/2017/2017_ISE_e_PR_1yearAPV.pdf)
- <sup>116</sup> REM TEC S.r.l., 2012, “Agrovoltaico®: in Pianura Padana si produce energia "double green"”, [http://www.expoclima.net/focus/innovazioni/agrovoltaico\\_in\\_pianura\\_padana\\_si\\_produce\\_energia\\_double\\_green.htm](http://www.expoclima.net/focus/innovazioni/agrovoltaico_in_pianura_padana_si_produce_energia_double_green.htm)
- <sup>117</sup> West Somerset Council, 2013, “Guidance for Applicants: Solar Farms and Archaeology”
- <sup>118</sup> Department of Agriculture, Environment and Rural Affairs, 2017, “Solar PV on Farm”, <https://www.daera-ni.gov.uk/articles/solar-pv-farm>
- <sup>119</sup> 公益財団法人地球環境センター, 2016, 「平成 28 年度から平成 30 年度

- 
- 二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金（二国間クレジット制度資金支援事業のうち設備補助事業）公募要領」
- <sup>120</sup> 株式会社国際協力銀行，2017，「モンゴル国において日本企業が実施する太陽光発電事業に対する融資」，  
<https://www.jbic.go.jp/ja/information/press/press-2016/0331-54728.html>
- <sup>121</sup> National Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology, 2015, “Natural Energy Device Research and Development Pact”,  
<http://www.jkuat.ac.ke/partnership-in-natural-energy-device-research-and-development/>
- <sup>122</sup> Southern Energy Management, 2011, “Solar Double Cropping Project, Ribbon Cutting Announced”,  
<http://www.prweb.com/pdfdownload/8889582.pdf>
- <sup>123</sup> Abhinav Jindal, 2017, “Solar Sharing- a Power-Agro Hybrid: Alleviating Poverty in India”, Renewable Energy World Conference & Expo India 2017, <http://www.solarquarter.com/index.php/3536-solar-sharing-a-power-agro-hybrid-alleviating-poverty-in-india>
- <sup>124</sup> 深圳太陽能学会，2015，「中国国家エネルギー局2015年太陽光発電建設実施通知」
- <sup>125</sup> B. Obama, 2017, “The irreversible momentum of clean energy”, Science
- <sup>126</sup> IEA, 2017, “World Energy Outlook 2017”, IEA, pp.41-61
- <sup>127</sup> EU, 2017, “Two years after Paris – Progress towards meeting the EU's climate commitments”, EU, pp.4-9
- <sup>128</sup> IEA, 2017, “World Energy Balances 2017”, IEA, pp.5-6
- <sup>129</sup> 茅陽一，横堀恵一，1997，“Environment, Energy, and Economy: Strategies for Sustainability”，Tokyo, Japan: United Nations University Press.
- <sup>130</sup> Eric Beinhocker, Jeremy Oppenheim, Ben Irons, Makreeta Lahti, Diana Farrell, Scott Nyquist, Jaana Remes, Tomas Nauclér, Per-Anders Enkvist, 2008, “The carbon productivity challenge: Curbing climate change and sustaining economic growth”, McKinsey Global Institute,
- <sup>131</sup> 中央環境審議会地球環境部会，2017，「長期低炭素ビジョン」，環境省，pp.36-37
- <sup>132</sup> OECD, 2017, "Carbon productivity", in Green Growth Indicators 2017, OECD Publishing, Paris,  
<http://dx.doi.org/10.1787/9789264268586-5-en>.
- <sup>133</sup> 環境省，2018，「2016年度(平成28年度)の温室効果ガス排出量(確報値)について」
- <sup>134</sup> 財務省，2014，貿易統計
- <sup>135</sup> IEA, 2018, “World Energy Outlook 2017”, IEA, pp.30
- <sup>136</sup> 日本銀行，2018，「資金統計循環2017年第4四半期の資金循環（速報）」，日本銀行調査統計局，pp.2
- <sup>137</sup> 内閣府，2015，「平成27年度年次経済財政報告—四半世紀ぶりの成果と再生する日本経済—」，pp.147
- <sup>138</sup> D. A. Koehler, Bruno Bertocci, 2018, “Stranded Asset: What lies

---

beneath”, 2018, UBS Asset Management, pp.2-4

<sup>139</sup> 内閣府, 2016, 「地球温暖化対策計画 平成 28 年 5 月 13 日閣議決定」

<sup>140</sup> 環境省, 2017, 「平成 29 年版 環境・循環型社会・生物多様性白書」, pp.65

<sup>141</sup> 財務省, 2014, 貿易統計

<sup>142</sup> 農林水産省, 2017, 「平成 28 年農業総産出額及び生産農業所得（全国）」, e-Stat,

<sup>143</sup> E. F. Schumacher, 1973, *Small Is Beautiful: Economics as If People Mattered*, London: Blond & Briggs, pp.2-11

<sup>144</sup> D.Pearce, 1988, “Economics, equity and sustainable development Futures”, pp.598-605.

<sup>145</sup> H.Daly, 1990, “Towards some operational principles for sustainable development”, *Ecological Economics*, pp.1-6.

<sup>146</sup> Robert Costanza, Ralph d'Arge, Rudolf de Groot, Stephen Farber, Monica Grasso, Bruce Hannon, Karin Limburg, Shahid Naeem, Robert V. O'Neill, Jose Paruelo, Robert G. Raskin, Paul Sutton, & Marjan van den Belt, 1997, "The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital", *Nature*,

<sup>147</sup> 内閣府, 2013, 「強くしなやかな国民生活の実現を図るための防災・減災に資する国土強靱化基本法」

<sup>148</sup> United Nations, 2015, “Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development”,

<sup>149</sup> World Bank, 2018, “Tracking SDG7: The Energy Progress Report 2018”, pp.2

<sup>150</sup> Edward J. Lincoln, 1998, “Japan's Financial Problems”, “Brookings Papers on Economic Activity”, Brookings Institution, pp.349-353

<sup>151</sup> B.M.Friedman, 1998, “Comment and discussion on Japan's Financial Problems”, “Brookings Papers on Economic Activity”, Brookings Institution, pp.376-384

<sup>152</sup> IRENA, 2018, “Renewable Power Generation Costs in 2017”, IRENA, pp.14-30, 34-35, 40-57

<sup>153</sup> 農林水産省, 2018, 「平成 29 年耕地面積（7 月 15 日現在）」