



最終報告書

# 人類生存の持続可能性

～2100年価値軸の創造～

公益財団法人国際高等研究所

「人類生存の持続可能性」研究会

## 目 次

<b>序 章 科学技術と持続可能性 .....</b>	<b>1</b>
<b>第1章 資源エネルギー .....</b>	<b>7</b>
1. 技術の選択肢：いま何が可能か.....	8
2. 再生可能エネルギーと今後の経済発展 .....	14
3. 持続可能な低炭素社会.....	19
<b>第2章 人口と食料 .....</b>	<b>27</b>
1. 世界の人口問題 .....	28
2. 日本の人口問題 .....	31
3. 食料生産の持続可能性.....	36
4. 持続可能な水供給 .....	41
<b>第3章 気候変動の緩和とそれへの適応 .....</b>	<b>45</b>
1. パリ協定は機能するのか：その評価と課題 .....	46
2. 持続可能性の意味を問い合わせ直す.....	54
3. 持続可能な都市と交通.....	58
<b>第4章 反グローバリズムとポピュリズム .....</b>	<b>61</b>
1. 人類生存の持続可能性を脅かすポピュリズムの台頭 .....	62
2. 米国の政権交代とパリ協定.....	66
<b>第5章 シェアリング・エコノミー；ミニマリズム；限界費用ゼロ社会 .....</b>	<b>69</b>
1. 限界費用ゼロ社会の経済学.....	70
2. カーシェアリングと自動運転.....	74
3. 何のためのミニマリズムか.....	78
<b>第6章 経済成長がすべてなのか .....</b>	<b>81</b>
1. 資本基盤の持続可能性.....	82
2. 経済成長と民主主義.....	85
3. 市場経済の限界 .....	90
4. 人工知能と雇用 .....	94

研究会開催経過 . . . . .	98
研究会メンバー . . . . .	100



## 序章 科学技術と持続可能性

持続可能性(sustainability)という言葉が頻用されるようになったのは、国連ブルントラント委員会の最終報告書 *Our Common Future* (1987)に、この言葉が盛り込まれて以来のことである。

1988年と1989年の主要先進7カ国サミットでは最重要課題として地球環境問題が取り上げられ、1992年にリオデジャネイロで開催された「環境と開発に関する世界会議」で気候変動枠組条約が採択された。当該条約は2年余で発効し、1995年にボンで第1回締約国会議が、97年に京都で第3回同上が開催され、京都議定書が採択された。

先進41カ国に温室効果ガスの排出削減義務を課する「京都議定書」は、大量生産・大量消費・大量廃棄を旨とする20世紀型産業文明が持続不可能であるとの警鐘を打ち鳴らすのみならず、科学技術の進歩の座標軸の大転換を迫るものであった。20世紀の経済成長を牽引した技術革新のことごとくが、二酸化炭素の排出量を増加させる（電力または石油製品を動力源に用いる）製品の開発へと結びついた。技術革新の座標軸の転換が不可避である。

一般に、「制約」や「不足」を乗り越えることが技術革新のインセンティブとなる。21世紀の技術革新を駆動するのは、資源制約と環境制約である。かくして技術進歩の座標軸の少なくとも一つは、「より燃費効率の優れた」に置き換わる。あらゆる技術はトレードオフ（作用を先鋭化させればさせるほど副作用が強くなる）関係を内に孕んでいる。

開発に当たる技術者は、技術が不可避的に有するトレードオフ関係から目を逸らしてはならない。と同時に、気候変動問題のように科学的知見が決定的でない際には、予防原則 (precautionary principle)に基づいて「早期の対策」(early actions)を取ることを怠ってはならない。最後に、スティーブ・ジョブズに倣って、21世紀の技術者は人文学や社会科学と融合されたテクノロジーの持ち主を目指さなければならない。

# 序章 科学技術と持続可能性

佐和 隆光

## 1. 持続可能な発展とは

持続可能性という言葉が、巷間、頻用されるようになったのは、国連ブルントラント委員会（ノルウェーの元首相ブルントラント女史を委員長とする「環境と開発に関する世界委員会」の通称）の報告書 *Our Common Future* (1987年) が、持続可能な発展 (sustainable development) という言葉を用いて以来のことである。今や、この言葉は地球環境問題を論ずる際のキーワードになったと言っても過言ではあるまい。上記報告書は次のように定義を下している。「持続可能な開発とは、将来の世代が自らの欲求を充足する能力を損なうことなく、今日の世代の欲求を満たすような開発」。

この定義は「人間中心的にすぎる」との批判が浴びせられることがあり、例えば、『新世界環境保全戦略』(1990年) は「持続可能な開発とは、人々の生活の質的改善を、その生活の支持基盤となつてゐる各生態系の収容能力の限界内で生活しつつ達成すること」という、生態系を重視する定義もあることを断つておかねばなるまい。

ともあれ、20世紀末になって、大量生産、大量消費、大量廃棄を旨とする「20世紀型産業文明」が21世紀には「持続不可能」となることが、特に天然資源の枯渇、地球環境の汚染、南北問題の深刻化と関連する文脈で、広く認識されるようになったのである。

## 2. 1988年のトロント・サミットから 97年の京都会議へ

「20世紀型産業文明をこのまま持続すれば、将来世代の福利 (welfare) を損なうことにならざるを得ない」との、ブルントラント委員会の打ち鳴らした警鐘は予想を超える反響を招き、1988年6月のトロント・サミットにおいて、地球環境問題が初めて議題に採り上げられた。その後に、カナダ政府主催の「地球環境問題を巡る国際会議」が同じトロントで開催され、「仮に今のペースで二酸化炭素の排出量を増やし続ければ、21世紀末には、地表の平均気温は3度上昇し、海面は60センチ上昇する」という、ショッキングなシミュレーション結果が報告された。

翻って、1980年代末の日本国内に目を向けると、時代はまさにバブル経済の絶頂期、人々は大量生産・大量消費・大量廃棄を「豊かさ」の象徴と受け止め、地球環境問題への関心は無きに等しかった。トロント・サミットを切っ掛けに、遅ればせながら日本国内のマスメディアも、地球環境問題に関する報道に熱を込めるようになり、地球規模での環境問題という全く新しい問題に対する人々の関心は次第に高揚するようになった。

1989年のパリ・アルシュ・サミットでは、「経済宣言」の3分の1を地球環境問題が占めるというほどまでに、地球環境問題への関心は日を追つての高まりを見せた。1992年には、リオデジャネイロで国連環境開発会議（地球サミット）が開催され、気候変動枠組条約（United Nations Framework Convention on Climate Change）が採択された。この条約が発効してのち、1995年3月末から4月にかけて、ベルリンで第一回気候変動枠組条約締約国会議（COP1）が開催され、1997年12月にCOP3が京都で開催され、「京都議定書」が採択され、2008年から12年にかけての5年間の温室効果ガス(GHG: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, HCFC, SF<sub>6</sub>)排出量を、1990年比で、欧州連合(EU)に8%、アメリカに7%、日本に6%の削減義務を課した。同時に、排出権取引、共同実施、クリーン開発メカニズムなどの「市場メカニズムを活用した」制度の導入が議定書に盛り込まれた。

その後、COPは毎年末に開催されてきたのだが、2001年2月にアメリカが京都議定書を離脱したこと、世界最大のCO<sub>2</sub>排出国となった中国（2014年時点）で世界の総排出量に占める中国の比率は28.2%）が排出削減義務を負っていないことなどがあつて、京都議定書によりGHG排出削減義務が課された国々の総排出量は世界全体の20%を占めるに過ぎなくなり、議定書により削減義務が課された附属書1国の努力の甲斐なく、2014年のCO<sub>2</sub>排出量は1997年比で1.6倍にまで増えた。

## 3. 京都議定書からパリ協定へ

2015年末にパリで開催されたCOP21において、以下に要約されるような内容のパリ協定が採択さ

れ、先進国のみならず、新興国や発展途上国もが参加する気候変動緩和策が 2016 年末には発効した。1) 全ての UNFCCC 締約国が GHG 削減の取り組みに参加する。2) 産業革命前からの気温上昇を 2 度未満に抑える。1.5 度未満になるよう努力する。3) できるだけ早く世界の温室効果ガス排出量を頭打ちにし、今世紀後半に実質ゼロにする。4) 2023 年から 5 年ごとに世界全体の削減状況を検証する。5) 全ての国に削減目標の作成と提出、5 年ごとの見直しを義務付ける。6) 温暖化被害軽減のための世界全体の目標を設定する。7) 先進国に途上国支援の資金拠出を義務付けるが、新興国も自発的に拠出することを勧める。8) 先進国は現在の約束(1000 億ドル)よりも多い額を途上国に拠出する（目標額は盛り込みます）。

パリ協定の発効が予想外に早かったのは、中国杭州で開催された G20 の直前の 2016 年 9 月 3 日、オバマ米大統領（当時）と習近平中国国家主席が会談し、両国がパリ協定を批准したとの共同発表に負うところが大きかった。両国の GHG 排出量を合わせると世界の 38% を占め、発効条件の一つである「批准国の GHG 排出量の合計が世界全体の 55% 以上を占める」を満たすこととなるからである。

#### 4. 20 世紀は二酸化炭素排出増加の世紀だった

「20 世紀はどんな世紀だったのか」という設問に対する、あり得べき答えの一つは「経済発展・成長の世紀」である。では、なぜ 20 世紀の 100 年間に、かくも急速な経済発展・成長を遂げ得たのだろうか。

その答えの一つは「技術革新（イノベーション）が相次いだから」である。その意味で、20 世紀を「イノベーションの世紀」と言い換えてよい。では、なぜ 20 世紀に入り技術革新が相次いだのか。その答えの一つは、19 世紀末に、人類が石油と電力という二つのエネルギー源を手に入れたから。技術革新の結果、私たちの生活の利便性を高め、より快適な生活を実現せしめた新製品が次々と登場したが、そのいずれもが電力か石油をその動力源として用いている。その意味で、20 世紀を「電力・石油の世紀」と言い換えてよい。

しかし、その裏を返せば、20 世紀は「二酸化炭素排出の世紀」だったということになる。すなわち、二酸化炭素の排出量を増やし続けることにより、私たちは「豊かさ」を手に入ってきたのだ。実に皮肉

なことに、20 世紀が終わらんとする 1997 年 12 月、約 160 カ国が参加する京都会議（COP3）において、2010 年をはさむ 5 年間の、20 世紀のシンボルとも言うべき二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの年平均排出量（CO<sub>2</sub> 換算して加算した値）を、1990 年比で「少なくとも 5% 削減する」ことを先進 40 カ国に対して義務付けるという、京都議定書が採択されたのは、まさしく「20 世紀型産業文明は持続不可能」との認識を人々が共有するようになったことを意味して余りある。

20 世紀の科学技術は、経済発展・成長に寄与することを、その目的に据えていた。しかし、21 世紀の科学技術は「持続可能な開発」に寄与することをその目的に据えなければならないことは確かだ。

#### 5. 科学技術の「進歩」の座標軸の変化

1973 年のオイルショックまでは、ジャンボジェット機やコンコルドに象徴されるように、技術進歩の座標軸は、「より大きく」「より速く」「より強く」を目指すものであった。しかし、20 世紀の最後の四半世紀に入ってからは、技術進歩の座標軸に有意味な変化が生じた。すなわち、技術の進歩とは「燃費効率のより優れた」「費用対効果においてより優れた」新しい機器の開発を意味するようになった。1990 年代以降の地球環境問題の浮上は、こうした趨勢を加速させた。

一般に、何らかの「制約」や「不足」があつてはじめて、技術革新（イノベーション）は駆動される。21 世紀は「環境の世紀」だと言われるが、それに二つの意味がある。一つは、地球環境問題がますます深刻化するであろうこと。もう一つは、環境制約が技術革新を駆動する力となるであろうこと。

しばしば「技術革新のおかげで、この世はモノに満ち足りた」と言われる。確かに、ヒトやモノの移動に関わる機器（自動車、航空機等）、家庭電化製品、通信機器、コンピュータなどは、ほぼ完成の域に近づいたと言っても過言ではあるまい。モノの面での「不足」はほぼなくなりつつある。

これから技術革新のバネとしての「制約」と「不足」は何なのかというと、次の二つが挙げられる。一つは、不老長寿と無病息災への尽きせぬ願望である。こうした万人共通の願望を叶えるべく、生命科学に巨額の公的研究費が投入されている。過去四半世紀の医療の進歩には、誠に目覚ましいものがある。もう一つは環境制約である。少なくとも「予防

原則」と言う観点からすれば、GHG の排出量削減のための気候変動緩和策、すでに実現している気候変動への適応策に、費用をかけざるを得ない。化石燃料に炭素含有量に応じて課税することにより、化石燃料の消費を抑制し、省エネルギー技術の開発を誘い、低燃費車の普及を促し、再生可能エネルギーの利活用を促し、省エネルギー投資の採算を確保する。また、税収を、官民の研究開発投資の原資、優遇税制の財源に充てることができる。

次に指摘したいのは「技術の非可逆性」である。いったん登場した技術が、生命や環境に被害を及ぼすからと言って、法的に禁止されたり、人々がそれに反発したり、それを拒否したりして、市場から姿を消したという事例の数は決して多くはない。私の知る限り、DDT（殺虫剤）、睡眠薬としてのサリドマイド、オゾン層を破壊するフロン、アスベスト（石綿）など、ごく一部の有害化学物質に限られる。

なぜ技術は非可逆的なのだろうか。理由の一つとして、技術革新が、その技術を専門とする技術者の職業集団を形成することが挙げられる。職業集団の構成員にとって、その技術を守ることが、文字どおり、死活問題なのである。二つ目の理由として、技術革新に基づく新製品を生産する産業が登場し、その利益を損なうような政策に対して、圧力団体として機能することが挙げられる。三つ目の理由として、新製品が消費者に対して類例のない快適性・利便性を、もしくは生産者に費用削減の便益を提供するからである。したがって、技術の非可逆性を容認せざるを得ないからには、技術の孕むリスクを最小限に止めるための技術の改編、そして社会システムの改編が求められるのである。

## 6. 科学技術とグローバリゼーション

20世紀最後の四半世紀の始まりとともに、それまで科学技術の中核部に居座り続けてきた科学（物理、化学）、技術（電気、機械、化学、建設、土木）に代わり、科学（情報、生命）、技術（医療、情報、環境）が一躍脚光を浴びるようになった。こうした科学技術の主役交代もまた、時代文脈の変遷、とくに成長・発展から持続可能性への価値規範の変遷を反映したことである。

とくに情報科学ないし情報工学の展開、すなわち「情報化」の進展は、1991年のソ連崩壊を画しての「社会主義の崩壊」をもたらす、という予期せぬ社会現象を惹起した。一言でいえば、通信衛星が飛

び交うようになり、世界中どこにいようと、CNN のニュースをリアルタイムで見ることができるようになった。いわゆる東西欧州を二分する「鉄のカーテン」は、ヒトやモノの流れを遮ることはできても、情報の流れを遮ることはできなかつたのである。

1990年代はグローバリゼーションの時代であった。1980年代末までに編纂された英英辞典に、globalization という言葉は登場しない。これは、グローバリゼーションという言葉の意味する現象が、1990年代に入ってから急進展したことを意味する。なぜ20世紀の最後の10年に、グローバリゼーションの意味する現象が一举に進展したのか。

その答えの一つは、「社会主義の崩壊」と「情報化の進展」である。国際決算銀行（BIS）の公表データによると、昨今、2兆ドル／日を超える為替が取引されるようになったが、コンピュータのマウスをクリックするだけで巨額の取引が瞬時に可能となつたからである。

良きにつけ悪しきにつけ、1980年代末から1990年代にかけての「投機の時代」の産みの親もまた情報技術（IT）にほかならなかった。金融工学（financial engineering）が様々な金融派生商品（derivatives）を生み出し、それらが国際金融市场に投入されるようになった。その結果、アメリカの住宅価格の下落が引き金となって、2008年の国際金融危機が招来されたのである。

## 7. 東日本大震災と福島第一原発事故

常識に照らして、あり得ないことが起きることをブラックスワンと言う。その語源は次のとおりである。1770年、キャップテン・クックがオーストラリア大陸を発見した。上陸したイギリス人は、姿形はスワンそのものなのだが、羽の色が白ではなく黒い水鳥がオーストラリアに生息しているのを見て驚いた。以来、あり得ないはずのことが起きることを、ブラックスワンと呼称するようになった。

2011年3月11日の東日本大震災は「東日本大震災は予知不能」だったという意味で、ブラックスワンそのものである。すなわち「あり得ないはずのことが起きた」のである。他方、福島第一原発の事故はブラックスワンではなかつた。なぜなら、事故が勃発するまでは、電力会社も経済産業省も原発は「絶対安全」（事故はあり得ない）と言い続けてきたし、一般市民もまた「原発事故はあり得ない」と

の神話を信じ続けてきたのだから。要するに、この国では「あり得ないなんてあり得ない」ことの認識が決定的に不足していたのである。

絶対安全の神話が通用するのは、日本に限ってのことである。例えば、電力供給の70%超を原発が占めるフランスのアレバ社は、ロボット、汚水処理装置を絶えずスタンバイして事故に備えている。仮に日本の原発メーカーである東芝、日立、三菱重工が同様のことをすれば、絶対安全の神話への信頼が揺らぎ、反原発の火に油を注ぐことになりかねない。とは言いながらも、事故が起きてしまったからには、経済産業省も電力会社も「絶対安全」の看板を降ろさざるを得なくなってしまった。

2015年6月の先進7カ国サミットで安倍首相は「2030年のGHG排出量を2013年比26%削減することを正式表明した。目標達成のために、電力供給の20~22%を原発に、22~24%を再生可能エネルギー（大型水力を含む）で賄うとのことである。上記の原発比率を達成するには、原発寿命を「原則40年」と定めた改正原子炉等規制法の例外規定（最大20年の延長あり）を、ほとんどすべての原発に適用しなければならない。専門家の計算によると、「原則40年」の規定に従う限り、現在建設中の2基を加えても原発比率は高々15%のことである。福島第一原発の事故後、規制が強化されたため建設費が倍増したこともある、また電力需要の伸び率が低下したこと也有る、今後、電力会社が原発の新增設することはあり得ないものと推察される。

原発の発電コストが火力発電や再生可能エネルギー発電に比べて高いのか低いのかについての議論が盛んだが、この点について私見を述べれば次の通りである。当初に投資した設備（発電所）の償却費を含めた平均費用に関する限り、原発は他の火力発電所や再生可能エネルギーよりも高コストであろう。しかし、既存の設備を再稼働する際の限界費用に関する限り、原発は火力発電所に比べて圧倒的に安価である。原発の限界費用は1kWh当たり1円前後とのことである。電力会社が原発の再稼働に熱心なのはそのせいである。なお、念のために付け加えれば、再生可能エネルギー発電の限界費用はゼロである。

2012年7月に施行された「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」（日本版FIT: Feed in Tariff）により、再生可能エネルギーの普及に拍車がかかるかに思えたが、固定買取価格の引き下げに伴い、普

及率は頭打ちの状態にある。太陽光パネルを屋根に設置する戸建て持ち家住宅の比率の推移は以下の通りである。2003年に0.9%だったのが、08年に1.6%、13年には4.6%と著増した。もともとドイツで始まったFITは、効果的な社会技術の代表例として、賞賛に値する。ただし、買取料金と電力料金の差額を、電力料金の値上げによって賄うという方式の是非については、公平性の問題を避けて通れないのが、唯一の難点と言わざるを得まい。

過去10年近くの原油価格の動向を要約しておこう。2008年6月に1バレル134ドルという史上空前の高値を付けた後、国際金融危機の煽りを受けて下落したけれども、09年7月から14年12月までは80~110ドルで推移した。ところが、15年8月に41ドルまで急落し、その後は、40ドル台後半から50ドル台前半で推移している。

15年央の急落の原因是、北米で進むシェールオイル田開発に歯止めをかけるべく、14年11月のOPEC総会で減産を見送ったことである。シェールオイルの限界採掘コストは1バレル50ドル程度である。設備の償却費をも含めると、原油価格が100ドル程度でないと採算が取れない。今後、数年間、原油価格が50ドル前後で推移すれば、シェールオイル田への開発投資は見合わざるを得なくなる。原油の99%を海外からの輸入に負っている我が国の経済にとっては、原油価格の安値での推移は有難いはずだが、手放して喜んではいられない。なぜなら、日本の自動車メーカーが得意とする低燃費車の開発の比較優位性が損なわれるからだ。

2012年4月、黒田東彦日銀総裁が「今後2年後に年率2%のインフレを起こす」と公約し、国債やETF(Exchange Traded Funds)のほぼ無制限の購入により目標達成を目指したのだが、原油価格の下落が、消費者物価上昇を遮ったとされている（私には、この指摘はこじつけとしか思えない）。ここ数年の原油安を「逆オイルショック」と言う向きもあるが、日本経済もまた、逆オイルショックの少なからぬ負の影響を被っているのは否定し難い事実である。

## 8. 結び

あらゆる技術はトレードオフ関係を、その内に必ずはらんでいる、と言つても決して過言ではあるまい。医薬品の作用・副作用、iPS細胞の臨床応用と癌化の可能性、高額医薬品の保険適用と財政負担、原子力発電所の事故リスク、大規模公共事業に伴う

自然環境破壊、デジタル機器の普及による好悪両面の社会影響等々。

これから科学技術のあり方を考える上で、「予防原則」をもっと積極的に採り入れるべきである。遺伝子組み換え作物の是非、温暖化（二酸化炭素排出削減）対策の是非などの判断が、「予防原則」に基づいてなされるか、それとも「十分な科学的知見」を必要とするのかが問われている。前者の場合、不必要なコストを支払うことになるのに対し、後者の場合、“too late!”な（取り返しのつかない）事態に陥る可能性がある。

以上、あらゆる科学技術の孕むトレードオフ関係、そして予防原則について言及したが、これらの問題にどう折り合いをつけるのかについての最適解を導くに当たっては、人文社会学者の知見を取り入れることが欠かせない。今、欧米先進諸国では、STEM（science, technology, engineering, mathematics and mathematics の頭文字を並べたもの）から STEAM（STEM に arts を加味する）への趨勢の下にある。つまり、今日の科学技術の在り方を考える上で、人文知（arts）が欠かせないと認識が普遍化しつつある。

人文社会知なくして、これから科学技術のイノベーションは望めないことを巧みに言い表したのが、2011年3月、アイパッド2の発表会でのステ

ィーブ・ジョブズの次のような名言である。「アイパッド2のような、心を高鳴らせる製品を開発するには、技術だけではダメなんだよ。人文知（humanities）と融合した技術が必要なのだよ」。

文科省の言う「思考力・判断力・表現力」を磨くには、数学・物理だけではなく、文学・哲学・歴史・社会諸科学を学ぶこと、そして批判精神を培うことが欠かせない。技術開発に携わる技術者たちには、今ある技術を「批判」する批判精神の持ち主であって欲しい。批判が創造の源泉であることを忘れないで欲しい。

旧ソ連・中国では国会議員、高級官僚、企業経営者の大半がエンジニア出身であり、多くの人社系知識人は排斥されてきた。そんな国々は 1991 年 12 月の旧ソ連崩壊を画して消え去ったはずだったが、ここ一両年、自由主義と民主主義を脅かす全体主義再興の気配が、そこかしこに見え隠れする。小説『1984 年』(1949 年) でジョージ・オウエルが描いた、「戦争は平和だ」「自由は屈従だ」「無知は力だ」という 3 つのスローガンを掲げる全体主義管理国家への道を阻む（民主主義を守る）ためには、人社系知を排斥してはならない。と同時に、全体主義国家への道を遮るためにには、科学者・技術者が人文知に目覚めることが欠かせないのである。

# 第1章 資源エネルギー

## 1. 技術の選択肢：いま何が可能か

人類だけでなく、すべての地球上の生物は、有限な物質量と、太陽からやってきて宇宙空間へ放出されるほぼ一定のエネルギー流を用いて、生存に必要な物質とエネルギーのサプライチェーンを構成する。これはエネルギーによって駆動され、定常なエネルギーの流れと物質の循環を、他生物とともにを行う一方、エントロピーを排出し、自己システムの組織化・高度化によりエントロピー低減と価値創出を行う。安定相ではシステムを構成する物質とエネルギーのスループットおよびストックは増加せず、価値のみが蓄積される。人類はこの生存システムを技術によって構築する。持続可能なモデルは存在し、技術にはこれを実現する選択肢がある。

## 2. 再生可能エネルギーと今後の経済発展

2030年度に26%削減という日本の温暖化目標は、経済成長率を過大に設定しているうえ、再エネ導入量が小さい。固定価格買取制度によって太陽光発電中心に再エネ導入が進んでいるが、再エネ熱供給は減少していることや、人口の少ない市町村において再エネ政策が普及していない。再エネ導入は、域外から収入をもたらす「成長部門」と域内の資本基盤の手入れを行う「持続部門」の双方において、今後の経済発展に寄与できる可能性がある。

## 3. 持続可能な低炭素社会

人類は生活圏サプライチェーンの構成に技術を用いてきたが、技術自体は中立的であり、人類社会の設定する特定の方向性にしたがった合目的的なシステムを形成する。近代にいたるまで技術は物質エネルギー供給のスループット拡大およびその成長率向上を指向し、地下資源・化石エネルギーの利用を開始して、光合成による物質エネルギー供給速度と成長率の制約を解放した。一方現在の技術が目標とする低炭素エネルギーシステムは持続可能であり、量的拡大でなくエネルギーインフラの高効率化高度構造化を指向している。このシステムは物質消費への依存性が少なく、持続可能な状態で限界費用はゼロに近づく。この過程でもエネルギーはサプライチェーンの駆動力であり、エネルギーは構造を作り続け、価値を創造する機能がある。これは持続可能な成長が可能であることを示す。

## 1. 技術の選択肢：いま何が可能か

小西 哲之

### 1. 基本的な持続可能モデル

生物は生身の個体が自然界の中に単体で独立に存在しているわけではなく、必ず生きていると同時に、周りの環境から必要な物質やエネルギーを取り込み、不要なものを排出する。つまり、自分の生存のための物質とエネルギーのサプライチェーン「生活圏」を構築する。しかし、それらの物質とエネルギーは常に身の回りに都合よくあるわけではない。そもそも、自分に必要な物質やエネルギーが比較的豊富なところに生物は棲みつく。またそのような条件のいいところを争って生存競争があり、環境に良く適合したものが「自然淘汰」に勝ち残り、また「適応した」とみるのが比較的古典的な進化論の自然観である。確かに物質自体は地球上に機会平等的には存在している。しかし実はよく見れば、これらの物質やエネルギーはどの生物にも共通の資源として、共通の条件で獲得競争が行われているわけではない。異なる種は異なる物質・エネルギーを固有な時と場所とルートで入手している。時には迂遠と思われるようなサプライチェーンがあり、生物は複雑なルートと手順で、わざわざ獲得困難見えるようなところからも、自分に適した形で物質資源やエネルギーを利用している。しかしこれは、生物が長い時間かかって自分の必要資源の獲得ルートを周りの環境との兼ね合いで最適化した結果である。

太陽光や大気中の熱のエネルギーを、生物は日なたや温暖な気候から得るとは限らず、競争者がいないとか、物理条件が悪くともほかの制約条件が少ないなどの状況で、日陰や冷涼な地域で最もよく利用することがある。水資源であれば水中や湿潤な環境ではなく乾燥した環境を好む生物もある。物理的に入手困難なようでも、独自経路を開発したり、他生物との競争が少なければかえって入手が容易になることもある。そしてそれらは必ずしも外部環境から直接得るわけではなく、多くは他の生物とのかかわりで得られている。

このような生物によるエネルギー・資源の獲得方法のモデルは、人類活動についてもおそらく大部分の点において共通にみられる。人類は特にその知性や人工物の利用などの特徴により、他の生物ではあまり見られないような、直接の摂食以外のルートを

多く含むサプライチェーンを作り上げた。しかしそのサプライチェーンは、他の生物によるシステムと同じく、エネルギーの恒常的流れと、物質の循環機能を持つ。エネルギーは保存則があり、物質も消滅も生成もしないから、全体の物質及びエネルギーの収支はゼロであり、その時当該生物のシステムは安定に駆動することが可能である。それぞれの生物の生活圏を見ると、ほとんどの場合それは他の生物との循環において形成されている。その中では、それぞれの生物種が、持続可能性あるシステムの一部として相互作用している。

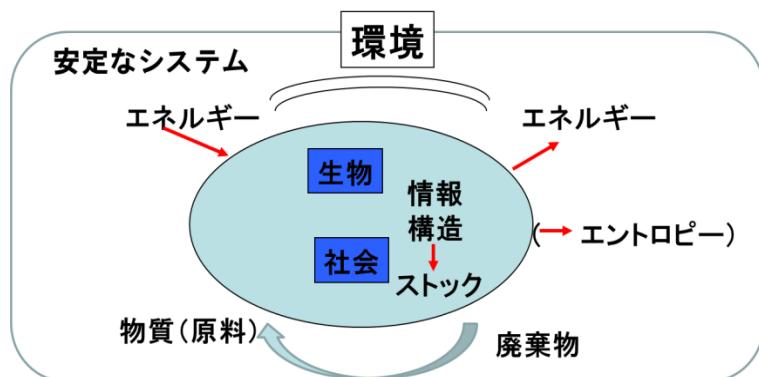


図1 サステイナブルな物質循環系

このシステムの典型例を図2に示す。これは実験的に実証されているある生物群の閉鎖系における持続可能なシステム—バイオスフィアの例である。藻類、ミジンコ、メダカ、(および存在はあまり実感されないが)バクテリアが物質循環系を構成し、外部から何物も供給されることも、また外部に排出されることもない。エネルギーは、外部から光として供給されるが、その総量( $J$ )としても、単位時間当たり( $W$ )としても同量が常に外部に熱として放出されるので、蓄積することはない。しかしその中で、すべての生物は物質を代謝循環し、蓄積することも消費することもない。エネルギーは、実は食物として摂取した物質(それらは正確に同じ量を排出する)からそれぞれの食物から化学エネルギーとして摂取し、熱として放出する。つまりそれぞれの食料として摂取された物質はエネルギー媒体に過ぎない。

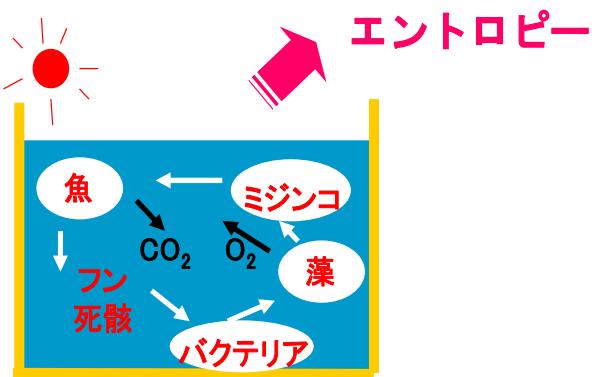


図2 バイオスフィアモデル

このような物質エネルギー・サプライチェーンは、それ自体として安定でなければ、当然持続可能にはなれない。しかしこれはまた必要条件に過ぎない。短期的に物質収支とエネルギー収支が取れて安定に見えてても、長期的にはどこかで消耗性の資源を消費したり、廃棄物が蓄積して環境特性を変えたりすると、その時定数の範囲を超えて持続可能にならず、破たんすることもありうる。物質エネルギー循環量は、サプライチェーン内のもつバッファ機能の大きさに応じてある程度変動することができ、拡大したり縮小したりすることができる。長期的に安定な解は振動することもあるが、持続可能であるときには振動も含めておおむね定常な循環量以外に安定解がないことは明らかである。

## 2. 持続可能な構造と特性

エネルギー・サプライチェーンが機能すると、エネルギーの流れによって、エントロピー排出と、生活圏においては構造構築—低エントロピーの蓄積、が起こる。その生活圏の構築、構造化自体がサプライチェーンを成立させているシステムであり、複数生物種を含む物質エネルギー循環ループを維持運営する主体であり、構造化複雑化を継続し、進歩させるという特性を持っている。植物が例えれば樹木として成長し成熟するときは光合成により構成元素から複雑な化合物と、それらがかたちづくる構造を形成し、さらにそれらが森林を形成したりする。動物も代謝により化学的合成を行い、個体を構成し、さらには群生や集団の自己組織化を行い、それは周囲環境から食料など必要な物質とエネルギーを取り込み、不要物を排出しながら、他の生物と循環系を作る。生物系であれ、人類による人工物であれ、エネルギーを消費するシステムの多くは、エネルギー

変換の過程で化合物や構造物、さらにその構造がコーディングする情報を生成し、更新し、蓄積するという基本的な機能を持っている。

進化論的選択（淘汰）も、この生活圏を単位としてそれら間の相互作用で発生する。複数の生物種がそれぞれに物質エネルギー循環システムを構築するとき、それらの間には複雑なエネルギー・物質のやり取りが存在し、それらは総じて効率化し、複雑化する傾向にある。資源やエネルギーは不滅であり、本当に「枯渇」することはない。しかしそれのサプライチェーンにおいて、供給される速度の時定数に比べてそれらがある資源を、他のシステムと競合して取り合うことも起こる。

この結果、本来有限である地球上のエネルギー・物質の流れは、多くの生物の生存に適した環境では競争的に奪い合われた結果、シェアリング済みとなっていて、我々が目にするほとんどのシステムにおいて、余剰もなくなく、未利用で放置されている状態はあまり見ることができない。たとえば、砂漠や高山、高緯度、深海などでは別の、水や光や熱など、生存に必要な資源の最も厳しい循環量が規制しているが、大多数の生物が生存に適するような環境では資源は配分済みである。

これは物質エネルギー循環システムそれぞれのほとんどすべてが、資源の有効利用を持続可能な形で行っているように自然界で観測できるという結果を生んでいる。これは生活圏サプライチェーンが精緻化高効率化を続け、それら同士が進化上で競争し平衡状態に達した結果、すべてがほぼバランスした状態だからである。もちろんすべてのシステムがそのように成功するわけではなく、多くの進化の過程で生じた多数の滅亡例の犠牲の上に、たまたま成功しているモデルだけが長時間持続しているために観測にかかる。生物的（進化論的）に見れば、発生した種の大部分が滅亡し、0.1%程度が残るとされる。このような平衡状態は、新たな物質エネルギー供給経路が開発された時には関連するシステム間でスループットが変化するため、平衡点の移動が起こる。新たな生物種の発生などがその現象に相当し、このような平衡の移動のため、生物種の発生は常に断続平衡的に観測される。新たな種の発生、とここでいう現象は、必ずしも生物学的、進化論的な遺伝形質の変化を意味しているわけではない。生活圏の変化、例えば居住環境の移動や拡大、昼行性から夜行性、植物の季節的休眠など時間的な行動の変

化、食物の変化などは物質エネルギーサプライチェーンの変化を引き起こす。それらは関連する他の生物や環境にも影響を及ぼす。このようにして興隆する生物や滅亡する種が現れる。

人類の出現、特にその農業活動、さらに産業革命による工業化は、人類にとっては単なる繁栄と拡大の歴史であるが、地球上の資源の流れと、他生物とのかかわりをひときわ大きく変えてきた。資源物質は前述のようになくなるわけではなく地球上で従来と異なる経路で変換され、人類はそれらを利用後は廃棄してその流れを再び環境にゆだねる。人類が出現したからと言って、地球が受ける太陽光エネルギーの量が変化したわけでも、地球上の物質総量が増減したわけでもない。ただその流れが変わったのである。この結果環境における循環容量も大量に消費される。さらにその物質エネルギー循環の量と経路の変化は、様々な生物種のかかわるシステムに致命的な結果を与え、多くの種の滅亡を引き起こしている。これは多くの場合、人類による他種生物の資源利用機会の収奪によって起きているが、生物による循環量—バイオマスとして観測される量は実は人類の活動により大きく増加し、経路も内容も変化している。その最たる例は農業であって、ごくわずかの遺伝子型を持つ少品种種が農耕、牧畜などによって大量に地球上の物質循環量を変えている。

観測されるほとんどすべての生物種は極めて多数の世代数にわたって成立するとともに、その生存に必要な物質エネルギー循環を行うサプライチェーンとして利用してきた。生活圏が物質・エネルギーをその構成生物と環境の中で途切れなく供給、循環してきたシステムは持続可能であり、一方その供

給が定常状態に達していないものはすべて、滅亡までの過渡状態にすぎない。

人類活動も物質・エネルギーの供給とそのシステム構築の観点では、この枠組みで記述できる。現時点まで、歴史的に見てもメカニズムでみても、様々な形で人類はその必要とする資源やエネルギーを必要なところに供給するシステムの構築に成功してきた。しかもそのスループットは大きく増加し、システムも巨大化複雑化を続けている。しかしこのシステムのスループットが増加を続けていることを考えれば、そのサプライチェーンについての持続可能性は保証されておらず、むしろ持続可能状態にない、ということが明らかである。

このような一般モデルの挙動を考えるとき、このサプライチェーンの持続可能性自体が人類の種としての成立性を決定するとみられる。つまり、人類は内在的理由により滅亡する選択肢を持っており、その可能性はかなり高いと言わざるを得ない。それは物質エネルギー循環システムとしての人類の生活圏モデルの安定性、という比較的単純なシステムダイナミクス問題に集約することができる。前述のようにこの物質エネルギーのスループットの安定解、というのは持続可能性の必要条件に過ぎず、これを満たしたからと言って人類の永続性が保証されるわけではない。しかし少なくとも人類の生存を可能とするシステムの満たすべき要件は、かなり単純なモデルで記述できるのである。本論考は、人類が自らの生存を維持し拡大するために作り上げてきたシステム、ことにここ数百年においては「技術」と「経済」という方法論によって特徴的な拡大を遂げたプロセスの安定性を考察する。

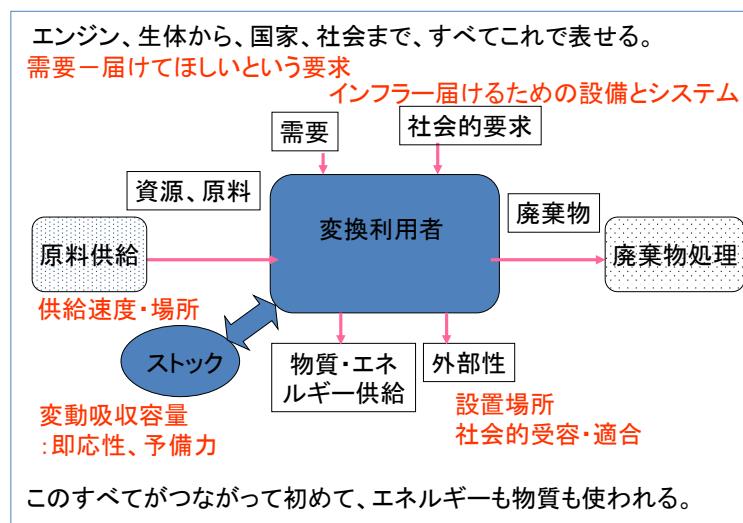


図3 物質エネルギーサプライチェーンの一般的な構造

### 3. 成長とサプライチェーンの動特性

この生物による物質エネルギー供給システムは、0次（ストックと構造）、1回微分（フローとサプライチェーン）、さらには2回微分（成長と減速）のそれぞれのレベルでの成立性を評価することができ、その結果により減少論的には淘汰されてきている。多くの安定相は振動解を含むもののゼロ次での定常性を持っている。スループットと、システムを構成する生物のバイオマス総量、およびシステム構成情報量（負のエントロピーにより計量される）の間にはある程度相関がある。つまり、1回微分量で表現されるシステムスループットが、それぞれの生物種の地球上で占める資源利用量を決めている。資源利用において「枯渇」は実はこれらのストック（ゼロ次量）が消滅することではなく、その時間微分量であるフローが需要量を満たさないときにおこる。物質とエネルギーのシステム内スループットが、そこで生存できる生物量も決めている。

例えば、少なくとも地球の歴史の大部分の期間において、地表および大気中の炭素循環は植物を中心とするループにより支配されてきた。植物は二酸化炭素を光合成により固定し、自らの構造を形成し、その構造の維持に伴う廃棄化合物（落葉など）は昆虫や腐朽菌などの他生物により再び二酸化炭素に戻る。このスループットは太陽エネルギーにより駆動されており、太陽から地球に照射された 6000K のエネルギーは夜間の輻射により同量が宇宙空間に排出され、その間植物体における負のエントロピー蓄積と、宇宙へのエントロピー排出が起こっている。有機化合物の合成やそれら高分子による複雑な構造の構築は大体において吸熱的であり、植物は周年的には概ね平衡状態にありながらも、より長い時定数では地球上で有機物を蓄積する。海中におけるサンゴや石灰質の蓄積も同様であり、これらの低エントロピー蓄積の結果は化石資源や石灰岩などの形で見ることができる。物質エネルギー・スループットが太陽エネルギーで規制されたため、高緯度で少なく、低緯度でより大きい。

2回微分としてのスループットの増加、減少は成長として観測されるが、これもそれぞれの循環システムにおけるサプライチェーンそのものの増殖速度で規制される。この成長現象は、やはりスループットが太陽エネルギーで決まっているため、個々の種の間での総量のゼロサムでこれまで推移してきた。これがロジスティック曲線としての生物種の発

生、進展、安定相を記述する。（そうでなければ滅亡する。これはJカーブと呼ばれている。）システムダイナミクス分析を行うと、基本はロジスティックでも、多くの振動解が出る。非線型性が強く、解析的に解くことはできないが、循環システムの構成生物の生存がエネルギー・物質スループットに依存するので、比較的容易に数値的には解かれる。

人類活動は、このスループットを、まずエネルギー利用効率の向上と、エネルギー利用空間の拡大によって大きく増加させた。それが農耕の発生である。耕作、灌漑、施肥、単一品種の選択的育成は、植物の光合成による太陽光エネルギーの人類生存への取り込みを大きく拡大した。一方、他の人類が食用に供さない植物を経由するスループットが大きく減少し、必然的にそれらを経由する昆虫や動物などの循環ループが滅亡ないし縮小したことは言うまでもない。人類の生存にかかるエネルギー所要量は、生物学的には大きく変わっていないはずであり、端的に言って一日 2000 キロカロリーと呼ばれるエネルギーのほぼすべてを太陽から得ていることになる。1 日 10MJ 弱のエネルギー消費は、1KW/m<sup>2</sup> の太陽光に比べれば極めて小さく、地球規模でみたとき太陽光による人類の養育は無視できる程度の影響しか与えない。人類活動のこの部分の拡大は人口の拡大と基本的にリンクしている。食料は農業生産の成長率を超えて拡大しないが、それは人類の人口増加をほとんど常に凌駕する速度でこれまで推移してきた。

人類活動をエネルギー・物質スループットの観点で計測すれば、農業における成長率は、技術開発全体の成長より遅い。それはエネルギー供給密度が太陽光で規制されるため、成長速度そのものがそれによって制約されてきたからである。しかし技術開発は、人類のエネルギー・スループットをより高速に増加させることを可能とした。これは人口の拡大もあるかに上回り、現在の先進国では一人当たり前記 1 日 2000kcal の約 50 倍のエネルギー使用を伴っている。このエネルギー使用量の拡大、つまり成長速度は太陽光利用によるエネルギー使用の上限を大きく上回って、過去数 100 年推移した。これは、農耕による食料生産や森林による薪炭利用という基本的に太陽光エネルギーの範囲内であったエネルギー・スループットを、化石エネルギー資源の発掘により急速に拡大した結果である。2 回微分としてのエネルギー・スループットの拡大成長速度が、他を凌駕

する形で地球上の物質エネルギー循環システムに大きなインパクトを与えることになった。ただし、それでもまだ地球に降り注ぐ太陽エネルギーの1/10000程度に過ぎない。むしろこのことは、エネルギーの大きさではなく、それを用いたエネルギーのサプライチェーンが、量的には小さくても地球の様相を変えうる力を持つことに留意したい。

人類において、この技術開発による生活圈構築は、しかし、他の植物や動物におけると同様、サプライチェーンそのもののシステム構築において、意図的計画的（時には偶発的、内在的指向）にフローの一定量を構造構築に振り向けることとなっている。エネルギー物質循環システムそのものが、人類が他の生物におけるスループットを数10倍上回る大きなものとなっていることは、その個々の流通過程そのものも高度に資源を取り込み、変換し、移送する機能を構造（メカニズム）によって実現している。これが人類活動の証跡としての農地であり都市であり生産システムとなっており、それ自体が低エントロピー蓄積を、拡大したエネルギー・スループットの中から行った結果である。

持続可能システムにおいて、成長は規模の拡大を伴わず、他の生存システムを阻害しない。（それは淘汰過程で起こる。終わったところが安定相。）しかし、人類の生活圈拡大は大きなスループットの成長を伴った結果、地球上の極めて多くの他生物の生活圈を奪奪し、変形させ、滅亡させてきた。人類そのもののシステムの安定性自体はまだ確定していないが、少なくとも地球全体での他生物生活圈への影響は、規模の拡大の結果として不可逆である。

一方、人類システムそのものの持続可能性は、少なくともスループットの安定が必要条件であることは前述のとおりである。スループットの成長曲線がロジスティック曲線であれば、現在の人類活動にみられるような成長は早晚収束する。ロジスティック曲線の安定相は成長率ゼロであり、規模の拡大を伴わない。

しかし、人類活動はエネルギー物質循環のサプライチェーンそのものの構築と構造化の上でも行われている。物質利用そのものは、人類の生活圈の量的拡大が収束すれば、地球資源としての採掘採集（消費）として無限に拡大するものではない。一方エネルギーは、おおむね同量が常にこのサプライチェーンの駆動に用いられ、排出される。この排出は、エネルギー総量のみではなく、エントロピー排出も

伴うが、それは人類活動が、低エントロピー蓄積を含むからである。

経済的価値（資本？）の蓄積は、抽象化すればこの低エントロピー蓄積で計量することができる。すなわち、持続可能システムにおける物質エネルギー・スループット一定の条件においても、経済的に見たときの価値創出はある一定量継続することが可能である。このとき（経済）成長とは、生活圈内の構造構築による価値創出の速度として定義される。排出された余剰エントロピー相当の、エネルギーの次元を持ち、これが成長とみなされる。

#### 4. 技術の選択肢

人類活動を物質エネルギー・サプライチェーンの構築とその駆動という観点でみたとき、人類は、生活圈構築の過程で技術開発という方法論を開発し、身に着けたということができる。この生活圈構築自体はすべての生物に共通であって、人類の固有の活動や機能ではない。前述のように、植物はその生活圈を人類発生のはるか以前から地球規模で構築し、支配していたといつてもいい状況を作り上げている。また、すべての生物が進化論的観点では生活圈と自分自身の形質をより効率的かつ複雑高機能に構築するということを極めて長い時定数で行ってきた。

しかし、その生活圈構築において人類の取った戦略、「技術開発」には時定数において極めて特徴的な違いがあり、これは成長の時定数の観点では他の生物より著しく（約100万倍程度）早い。技術開発も本質は試行錯誤であり、目的関数、評価関数により結果はことなるという点で、進化そのもののメカニズムと大きく変わるものではない。しかし、意図的試行と構造構築は技術の本質であり、少なくともシステム不成立に対する対策の可能な点で、人類の技術開発は人類そのものの生存、持続可能モデルの構築に有効な選択肢を与えるものと考えられる。現在の高度産業化、高成長社会モデルは、人類のこれまでの生活圈構築とその拡大の過程で必然的に最も有利な方法論として採用され、それを採用し実施した人類グループ（国家、企業、社会集団等）の生活圈拡大には最も有利に働いてきたことは事実である。

ところがこれが人類にとって破たん以外の結末を用意できないモデルであるとすれば、異なる選択が必要となる。持続可能性、人類の生存可能性を目

的関数、評価関数としたときに、人類の持つ方法論  
「技術開発」は異なる選択肢を示すことができる。  
経済成長は、これまで物質エネルギー投入の増加と、生活圈構造構築、維持、向上の部分が分離されずに議論され、また経済成長そのものが経済

運営の目的としてとらえられている。ゼロ成長が経済的に成立可能であるのかは不明であるが、少なくともスループット増加なしでも構造形成はある一定の速度では可能であり、またそれが持続可能であることは、このモデル考察により示される。

## 2. 再生可能エネルギーと今後の経済発展

倉阪 秀史

### 1. 再生可能エネルギーに関する国の政策

パリ協定においては、各国がそれぞれ温暖化防止のための目標を公開し、定められた方式でその達成状況を確認して、報告するとともに、5年ごとに目標を改訂するという枠組みが採用された。目標の改訂に当たってはより厳しい目標を目指すことが求められている。

日本は、2030年度に2013年度に比較して温室効果ガスを26%削減するという目標を掲げている。この目標の決定に当たっては、2030年度の一次エネルギー投入の13~14%程度、発電電力量の22~24%程度を再生可能エネルギーで供給するという見積もりがなされた。発電電力量ベースでは内訳も示されており、水力が8.8~9.2%程度、太陽光が7.0%程度、バイオマス3.7~4.6%程度、風力1.7%程度、地熱1.0~1.1%程度とされている。

2030年度に26%削減という日本の温暖化目標は一見高いように見えるが、実はそうではない。

第一の問題は、ベースラインのエネルギー消費量を過大に設定している結果、省エネによる寄与分が十分に勘案されない目標となっていることである。目標設定に当たって設定されたベースラインは、1.7%の経済成長を2030年度まで継続させることを前提としている。仮に、これが実現する場合、2030年の経済規模は2015年と比較して約29%増加することとなる。一方、人口は、国立社会保障・人口問題研究所の中位推計によると2030年には1億1662万人と2015年に比べて約9%減少する。つまり、単純計算して、1人当たりの付加価値生産を4割以上引き上げなければならぬ計算となる。これは、きわめて困難であろう。政府資産は、過大な経済規模を前提としてベースとなるエネルギー消費量を推計しているので、徹底した省エネを見込んでいるが、2030年度は2013年度に比較して消費電力量が1.5%増加することとなっている。ベースを見直せば、さらなる削減目標が可能となろう。

第二に、再生可能エネルギーの導入目標が低いことである。2012年に、世界全体の発電電力量に占める再生可能エネルギーの割合は21.2%であり、OECD諸国では約21%とされている。世界全体やOECD諸国全体では2012年段階で、日本の2030年

度の再エネ導入目標に近い水準を達成していることとなる。なお、EUの2030年目標では、一次エネルギー供給の27%、発電電力量の45%を再エネで供給するという目標となっている。日本の目標と比較すると、それぞれほぼ倍の割合となっている。

日本の再生可能エネルギー導入の目標水準が低いのは、変動する再生可能エネルギー(風力、太陽光)の目標水準がとくに低いためである。目標設定に当たって総合エネルギー調査会は、2030年度の風力発電の発電量を181.1億kWhと見込んでいるが、2015年度に環境影響評価手続に入っている風力発電計画のみで1,020万kWに上っており、これは179億kWhの年間発電量に相当する量となっている。また、総合エネ調は太陽光発電によって745.5億kWhの年間発電量を見込んでいるが、2015年1月末時点での固定価格買取制度の設備認定を受けている太陽光発電設備は7162万kWであり、稼働率14%としても年間発電量が878億kWhに達する数字となっている。

日本の温暖化目標の検討に当たって十分に勘案されなかったが、2014年度の環境省の委託先検討会報告書においては、2030年と2050年の再生可能エネルギーの導入可能量を試算している(三菱総合研究所(環境省委託研究)「2050年再生可能エネルギー等分散型エネルギー普及可能性検証検討会報告書」2015年3月31日)。この試算では、高位ケース、中位ケース、低位ケースの三つのケースについて試算されている。高位ケースは、概ね、技術的・制度的制約を勘案した再生可能エネルギーの導入ポテンシャルを2050年に全量顕在化させるという方針で試算されたものであり、低位ケースはこれまでの傾向を延長する方針で試算されたものである。これらの中間をとった中位ケースでは、2030年に2012年の発電電力量の33.2%、2050年には同63.7%となっている。これは電力ベースのみの試算であるが、2050年までに30~40%の省エネを実施すれば、発電電力量のほとんどの部分を再エネで賄える規模となっている。設備投資を継続するとともに、蓄エネルギー技術をはじめとする再エネの変動を制御する技術を導入して、この水準を実現する努力を行うべきであろう。

なお、脱温室効果ガスのエネルギー源として、原子力発電に期待する考え方があるが、もんじゅをはじめとする高速増殖炉の開発が進んでいない状況において、原子力発電は枯渇性資源のウランに依存するエネルギーである。

日本においては、2012年7月の再生可能エネルギー発電の固定価格買取制度の導入によって、太陽光をはじめとする再生可能エネルギーの導入が進み、2015年度には、大規模水力を含めた再生可能エネルギー発電は一次エネルギー供給の14.4%を占めるに至っている。このうち、太陽光発電比率は3.3%と前年度の2.2%から1.1%増加した。ちなみに、原子力発電比率は、2014年度は0%であり、川内原発などが再稼働した2015年度は0.9%となっている。再稼働による原子力発電以上に、太陽光発電が伸びている状況である。

太陽から地球に到達するエネルギーは人類が消費するエネルギー量の1万倍に達する。今後、エネルギー供給の持続可能性を確保するためには、化石燃料基盤の経済社会から、再生可能エネルギー基盤の経済社会に転換していく必要がある。

## 2. 「永続地帯」研究に見る再生可能エネルギーの導入状況

倉阪研究室と認定NPO法人環境エネルギー政策研究所は、2005年以来、全市町村の再生可能エネルギーの供給量を試算し、地域的なエネルギー自給率を算出する「永続地帯」研究を行っている。そのデータから、日本の再生可能エネルギーの導入状況を見ることとしたい。

「永続地帯(sustainable zone)」とは、その区域で得られる再生可能エネルギーと食糧によって、その区域におけるエネルギー需要と食糧需要を賄うことができる区域と定義される。これは、計算上の概念で、実際に自給自足していなくてもかまわないとしている。

サブ概念が、「エネルギー永続地帯」という概念であり、その区域における再生可能エネルギーのみによって、その区域における地域的エネルギー需要を賄うことができる区域としている。このとき、地域的エネルギー需要としては、民生用(業務+家庭)エネルギー需要と農林水産業用エネルギー需要を取り上げている。これらは、再生可能エネルギーによって供給することができるとともに、地方自治体がコントロールしうるものである。一方、個別デー

タの制約などから、工場生産用と発電用エネルギー需要、輸送用エネルギー需要は除外している。

集計の対象としている再生可能エネルギーは、太陽光発電(一般家庭、業務用、事業用)、事業用風力発電、地熱発電、小水力発電(10,000kW以下の水路式およびRPS対象設備に限るが、調整池を含む)、バイオマス発電(バイオマス比率が50%以上で定まっているもの。原則としてごみ発電は除く。コジエネを含む)、バイオマス熱(木質バイオマスに限る。コジエネを含む)、太陽熱利用(一般家庭、業務用)、地熱利用(温泉熱および地中熱)である。本研究では、毎年度末に存在する設備容量を把握し、その設備が年間にわたってエネルギー供給した場合の供給量を試算している。

最新の報告書によれば、日本における過去3年間の再生可能エネルギーの導入状況は、2012年3月から2016年3月にかけて、国内の再生可能エネルギー供給は倍増し、なかでも太陽光発電の発電量は7.3倍になった。これは、2012年7月に導入された固定価格買取制度の効果である。しかし、太陽光以外の再エネ発電には、固定価格買取制度の効果が十分に現れておらず、バイオマス発電が2012年度から2016年3月にかけて2.6倍となったが、風力、小水力、地熱とともに横ばい状態である。また、固定価格買取制度の対象となっていない再生可能エネルギー熱の供給は、減少に転じている。太陽光発電は成長経路に乗ったが、それ以外のエネルギー種についてはまだ十分に成長していないと言える。

この研究では、区域内での再生可能エネルギー供給量が区域内での民生用・農林水産業用エネルギー需要量を計算上上回っている市町村を100%エネルギー永続地帯市町村と呼んでいるが、2011年度の50市町村から、2014年度に61市町村、2015年度に71市町村まで増加している。

人口の少ない市町村の方が100%エネルギー永続地帯市町村になれる可能性が高いが、現状においては、人口の少ない市町村の方が、再生可能エネルギーを活用する政策を実施していないこともわかっている。倉阪研究室では、2011年、2013年、2015年と全市町村(2011年は被災市町村除く)に対して、再生可能エネルギーに関する政策調査を実施している。その結果によると、人口規模別にみた再生可能エネルギーに関する行政計画の策定状況は、30万人以上の市町村は、6割以上の市町村で再エネに関する行政計画を策定しているが、3万人未満で当

該計画を策定している市町村は 15%に満たない状況である。

### 3. 再生可能エネルギーによる「成長部門」への寄与

第6章1で詳述するように、今後の経済発展においては、外から収入をもたらす「成長部門」と域内の資本基盤の手入れを行う「持続部門」のそれぞれがバランスをとれた形で発展することが求められる。

このとき、再生可能エネルギーへの転換は、国内の「成長部門」と「持続部門」のそれぞれに寄与する可能性がある。

まず、「成長部門」については、太陽光、風力といった自然条件に応じて変動する再生可能エネルギーを安定的に使用するための技術とそれを活用した製品が新しい成長部門を生み出す可能性がある。

再生可能エネルギーのうち、地熱、小水力は稼働率が高く、ベースライン供給を担うエネルギー源であり、バイオマスは出力調整が可能なエネルギー源といえる。一方、太陽光と風力は、各種変動を引き起こし、とくに、需要量の少ないときに、供給量過多になる恐れがある。

このときに必要な技術が、蓄エネルギー技術、エネルギーの融通とその制御技術といった技術群である。

蓄エネルギー技術については、蓄電池、蓄熱システムのほか、水素などの物質で溜める方法、フライホイールなど運動で溜める方法がある。蓄電池については、概ね 10kWh の蓄電池と 3~4kW 程度の太陽光発電があれば、二階建て程度の家屋であれば、自立的なエネルギー運用が可能であるといわれている。たとえば、岐阜県新エネルギーパーク GREENY 岐阜においては、6.3kW の太陽光と 9.7kWh の蓄電池があれば、岐阜の市街地の 2 階建て住宅において、昼間の充電で夜間も生活できることを実証した。GREENY 岐阜では、国内メーカーの 9.7kWh のリチウム蓄電池を 2009 年に 500 万円で購入しているが、蓄電池価格はその後大幅に低下している。たとえば、電気自動車メーカーの特斯拉社が販売する Power Wall シリーズの最新ユニットでは、インバーターつき 14kWh の蓄電池が 61 万 7 千円というレベルである。

熱を溜める技術としては、水などの物質が溶解・

凝固することを利用してエネルギーを溜める潜熱蓄熱と、蓄熱を伴う化学反応を活用する化学蓄熱の双方がある。潜熱蓄熱は、簡便な方法であるが、大容量の設備が必要となる。たとえば、雪を溜めて夏の冷房に活用する雪氷熱利用（例：北海道モエレ沼公園の 3,160m<sup>3</sup> の貯雪庫）や、氷蓄熱槽を利用した地域冷暖房システム（例：みなとみらい 21 での 1,100m<sup>3</sup> の氷蓄熱槽）などの事例がある。化学蓄熱方式は、ケミカルヒートポンプとも呼ばれ、潜熱蓄熱と比較すると小さな容量のユニットで長期間にわたって熱保存することが可能な技術である。たとえば、三重県で行われた実証実験では、廃棄物焼却場の廃熱を 5 時間かけて 500kWh の容量のトランシーヒートコンテナに蓄熱し、10km 離れたホテルに 70°C の温水を供給した。その輸送・蓄放熱に要するエネルギー量は 50kWh 程度であり 30km 程度であれば熱収支的には引き合うことがわかっている。

化学物質として溜める方法としては、トヨタ自動車が、燃料電池車「MIRAI」の販売を開始したことによって水素利用に注目が集まっている。政府は、2015 年度に水素ステーションを 100 箇所設置すべく、設置補助金を支出した。1 箇所 4 億円程度の設置費用のうち、設備規模に応じて 1 億 8000 万円から 2 億 9000 万円を上限として補助したが、2016 年 6 月段階で開設された水素ステーションは 76 箇所（計画中は 14 箇所）にとどまっている。現在、使用されている水素は、既存の工業プロセスからの副生水素と、天然ガスなどの改質によって生成する水素であり、製造段階で二酸化炭素が排出されてしまう。将来、大規模な洋上でのウインドファームで水を分解して水素を生成するなど、再生可能エネルギーによって作り出される水素（R 水素）が、現在作られているインフラによって供給されるようになることが期待される。

蓄エネルギー技術とならんで期待される技術がエネルギーの制御技術である。制御の段階としては、各建物レベル、街区レベル、地域間での電力融通のレベルなどさまざまな段階が想定できる。

建物レベルでは、2024 年までに全世帯にスマートメーターが設置される計画になっていることにより、ダイナミックプライシング（電力需給の逼迫状況を反映させた電気料金にすることによって、ピーク時のカットと、過剰供給時の利用促進を図るもの）を導入したデマンドサイドコントロールが 2020 年代に導入できるようになる。このことによ

って、再エネの変動に応じた電力需要を喚起できるとともに、省エネ効果も期待できる。たとえば、北九州市スマートコミュニティ創成事業で行われたダイナミックプライシングの実証実験では、約20%の節電効果が見られている。

熱需要も含めてエネルギーを有効利用しようとすると、需要パターンの異なる建物間でエネルギーを融通する必要がある。街区レベルの取り組み事例としては、たとえば、FUJISAWA サスティナブル・スマートタウン（パナソニック、藤沢市）では、1990年比で、CO<sub>2</sub>排出を70%削減、生活用水を30%削減し、再生可能エネルギーを30%利用するなどの目標を掲げた街作りが進められている。また、SMA×ECO Project（大和ハウス）は、太陽光発電と蓄電池、HEMSを各戸に設置し、建物間の電力融通などを行うプロジェクトである。

さらに、電力については、電力会社間で融通できれば、大規模ウインドファームの電力供給変動を吸収することができる。ただ、風力資源が豊かな北海道については、北海道と本州の連系線容量が60万kWと小さく、それを増強することが必要となる。

化石燃料から再生可能エネルギーへの転換は、全世界に共通する課題である。再生可能エネルギーの中でも、太陽光、風力といった変動する再生可能エネルギーは、利用できる地域が限定される地熱や水力と異なり、普遍的に利用可能なエネルギーであり、これらを安定的に使用するために必要となる技術は、今後、全世界に需要が期待できる技術となる。この技術を活用した産業が、国際競争力を持つよう政策を強化する必要があろう。

#### 4. 「持続部門」としての再生可能エネルギー部門

さて、再生可能エネルギーを導入することは、日本国内において人口減少がすすむ地域に収入をもたらし、地域に人口を残すことをつうじて、各地域の資本基盤の維持管理に寄与するものである。つまり、再生可能エネルギーは、「持続部門」の育成にもつながると考えられる。

とくに、地域主導で再生可能エネルギーを導入することは、以下の二重の効果が期待できる。

第一の効果が、地域的に得られる再生可能エネルギーを活用することにより、これまで、エネルギーを購入するために域外に流出していた地域の富を、域内にとどめることができるという効果である。たとえば、永続地帯研究で把握している民生用と農林

水産業用のエネルギー需要に、各地域の標準的なエネルギー価格を掛け合わせて、地域的（民生用+農林水産業用）エネルギー支出を試算したところ、その総計は約42兆円となった。これは、地方税収総計（約19兆円）の2.2倍の規模である。また、全市町村について、地域的エネルギー支出額と税収の比をとったところ、その平均は2.7となった。再生可能エネルギーの導入によって、これらのエネルギー支出を域内の雇用につなげることができれば、エネルギー需要は安定的なものであるため、その雇用創出効果も安定的なものとなろう。

第二の効果は、固定価格買取制度により、自ら顧客を開拓しなくとも、地域的に得られる再生可能エネルギーを用いて、域外の富を域内に持ち込むことができるという効果である。永続地帯研究で把握している再生可能エネルギーの電力供給推計にもとづき、仮に、すべての再エネ設備が地方公共団体の公営であると考えて、売電収入（固定価格買取制度による収入見込みから回避可能原価を差し引いた額）と地方税収入を比較してみた。この結果、全国での売電収入は年間1兆1456億円となり、地方税収の6.0%に相当する規模となった。市町村毎に試算したところ、売電収入が地方税収を上回る市町村は107市町村存在することがわかった。

地方創生にあたって、地域の「成長部門」にあたる産業を育成することを促進する方向を重要視する論調がある。たとえば、中村良平氏は、地域の外にものを売ることやサービスを提供することで域外マネーを獲得する産業を「基盤産業」、地域の中にものやサービスを販売することでマネーを得る産業を「非基盤産業」と呼び、前者への従事者数が人口規模を規定するとして、基盤産業の育成の重要性を主張している。この「基盤産業」は、本稿の「成長産業」と同じ概念と考えられるが、「基盤産業」は各地方による顧客の奪い合いを招くため、日本全体が人口減少に向かう中で、その育成がすべての地域において成功することはなかろう。一方、地域のエネルギー需要を地域分散的な再生可能エネルギーで供給することは、すべての地域で確実に取り組むことができる。このことから、再生可能エネルギーの導入こそ、地方創生の切り札であると考える。

今後、人口が減少していく中で、37万km<sup>2</sup>の国土を維持管理していく必要がある。人の手が撤退していく地域においても、国土保全の観点から、なんらかの維持管理が必要なのである。このため、現在

存在する地域コミュニティーを可能な限り維持し、さまざまな資本基盤を維持する活力を地域に残していくことが長期的な国土保全費用を捻出する観点からも正当化されよう。

※本稿は、倉阪秀史「再生可能エネルギーと今後の経済発展の方向性について」『環境経済・政策学会誌』Vol. 10, No. 1(2017. 3)と一部重複がある。

### 3. 持続可能な低炭素社会

小西 哲之

#### 1. 技術的選択肢と人類の生活圏サプライチェーン

第1節で述べたようにすべての生物は何らかの形で自らの生存のための物質とエネルギーを移送し分配するシステムを形成し、その中で生きている。人類の場合はその生活圏サプライチェーンを技術により高度に人工物を駆使して構成しているが、その方式の如何を問わず、そのシステム構築自体が人類社会、人類文明の重要な活動目的であり、また活動結果であることは他の生物と大きく違うわけではない。人類文明については様々な側面があるが、少なくとも物質エネルギー循環システムを構築し、維持し、更新進歩させるという意味において、人類社会は技術的側面、土木や建築や工学などの目に見える構築物だけでなく、政治や経済や法律・規則、社会制度などを通じて、個人や集団としての行動の選択を左右し、さらにそれらの動機や目標設定を全体として方向づけるソフト的な機能も持っている。

そのような人類全体の社会や活動を通じて、「技術」自体は広範な科学的研究や装置開発のあらゆる側面において、客観的妥当性、検証および反論の実証可能性という点で、固有の規範と方法論を持っている。その結果、科学技術と呼ばれる方法論の体系は、人類や地球環境、他の生物種の現在の生存や今後の盛衰に対して中立的である。つまり科学技術は的確に目標に合わせて実施しても人類の生存や繁栄を保証するものではない。ある特定の効用を持つ装置や物質や方法やシステムを作り出そうとするとき、科学技術は常に設定目標に合わせた試行錯誤の結果、評価関数に最も適合したものを選択する。設定目標はその時の「文明」の指向に大きく影響される。物質エネルギー循環システムである生活圏は、内包する生物を多数世代生かすだけの持続可能性を持つとは限らないが、科学技術は少なくとも意図的に合目的なシステムを形成することを可能としている。人類の生活圏形成における指向性は、人類という種の発生と文明の興隆の中で、ほぼ一貫してスループットの増加（成長）と構造形成（資本の蓄積）という方向性を持ってきたといえるだろう。これは総じてどのような生物でも進化の過程で起こってきたことであるが、生物種間、および同種間での競争はこの資源スループットの争奪の形を取つ

ている。目的というか方向性を持った技術の選択は、農業であれ、他の産業であれ、あるいは社会制度や集団間での競争でも、常により多くの物質エネルギー・スループットを要求し、技術開発はそれに答えてきた。しかし食料に代表される人類のエネルギー獲得は、基本的には光合成による太陽エネルギーの植物による変換固定作用に依存している間は、農業技術（開墾、耕作、灌溉、施肥等）の実施と進歩と、農地自体の奪い合いにおいて主に行われ、成長は農業および森林の光合成量に規制されていたといえる。

産業革命が、化石資源という形で地表植物の光合成量に依存しないエネルギー利用を可能としたことで、エネルギー物質循環系のスループットは飛躍的に増大した。これが起きたのが森林資源によるエネルギー供給が枯渇する一方、石炭の採掘される英國で起きたことは偶然ではない。これは一方で帝国主義的な生活圏の急拡大要求を体現した。産業革命によるスループット増大、すなわち成長率はそれまでの農業主体システムに比べて圧倒的に大きかったため、人類活動の中で圧倒的なシェアを占めるとともに総量を拡大した。

現在の我が国を例にとれば、一人当たりエネルギー消費は必要カロリー（一日 2000 キロカロリーとされる）の約 50 倍である。

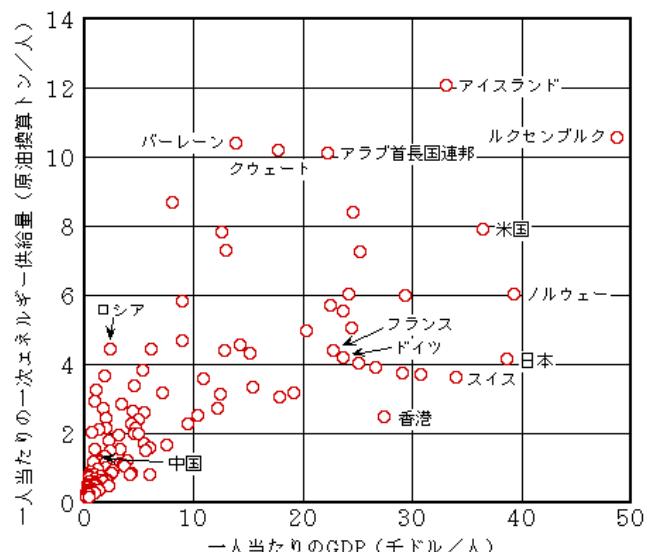


図 4 GDP とエネルギー原単位

（出典）「エネルギー白書」2007年版、経済産業省

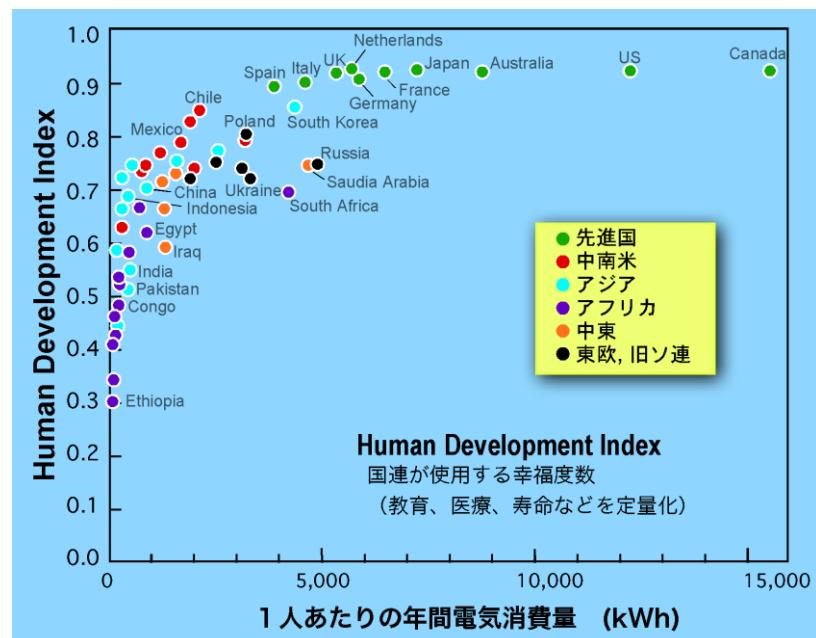


図5 電力使用量と生活レベル

図4にみられるように、GDP per Capitaとエネルギー原単位の間には相関がみられる。その幅は極めて広いが、どの国もが、それぞれ豊かさを追求する上ではエネルギー消費を拡大する必要を認識している。19世紀の帝国主義とそれに続く高度産業社会では、経済成長とエネルギー供給の拡大は技術開発に与えられた指向性でもあり、それが成功した結果が20世紀に先進国となった国々である。

しかし一方図4に読み取れるように、必ずしもその依存性は一義的に決まっているものではなく、エネルギー消費量と経済性の豊かさの依存性は、それほど強いものではない。

図5は、国連によるHuman Development Indexと一人当たりの電力消費量の関連である。HDI自体は恣意性のある指標であるが、少なくともある一定以上の健康で文化的な生活を送るために一定以上のエネルギー消費が必要であることがわかる。まだ人類の大多数はHDIの低い状態に甘んじており、これを向上させるためにはエネルギー供給が必要であること(特に電力へのアクセス)を示している。

しかし一方では、ある程度以上の生活レベルにおいては、エネルギー消費が増加してもHDIは大きく向上しない。図4と合わせて考えれば、途上国がエネルギーースループットの増加をとにかく追い求めるであろうことと同時に、先進国においては必ずしもそうではなく、エネルギーースループットの増加が指向されないという状況も理解される。

前述のように技術自体は中立的であり、社会の要

求や指向性に基づいて、異なる性格の物質エネルギー・システムを構築することも可能である。その理想像や評価関数は必ずしも共通ではなく、また一つとは限らないが、すでに経済開発がある一定レベルに達した先進国群においては、地球環境の保全と人類の持続可能性はある程度共通性のある目標と考えられている。そこでは、20世紀までに指向されたスループットの拡大とその成長率は必ずしも重視されているわけではなく、比較的少ないスループットでより快適な生活と高付加価値の経済活動が指向されていると考えられる。つまり21世紀の人類社会は生活圏を持続可能型に変更しつつある。

ただしこのような目的設定は、先進国と途上国では現在大きく異なっていることは注意する必要がある。途上国は未だ経済開発と成長が主要課題であり、そこでは従来型のエネルギー・スループットの増加と高度成長経済への傾倒も見られている。地球環境問題や持続可能性に理解は示しても、途上国的一般的な戦略は、十分な経済成長を達成した後にそのような方向に移行する、というものであろう。

## 2. インフラシステムの持続可能性

現在も人類の生活圏を構成するすべての分野で、技術開発が行われており、それが21世紀の持続可能型を指向している結果、成果として開発されるシステムや技術は、資源やエネルギーの利用効率を高め、循環比率を上げ、スループットの減少ないしわずかな増加で大きな効果を得ることを目的に構成

されている。このシステムの一般的な構成は図3に示してあるが、エネルギーも物質も、需要者の要求する形で供給される部分だけでなく、原料から廃棄物までと、諸元的な要求から最終的な利用に至るまでのすべてのシステムを示していることは注意を要する。これらに関する技術が高度化する結果、物質エネルギー供給の資源依存性は低下し、システム（インフラ）依存性は高くなる。サプライチェーンの構造がより精緻化し、複雑高機能化するためである。つまり、プロダクトとしての物質やエネルギーを需要者に届けるのに必要な原料と発生する廃棄物を低減し、サプライチェーン全体の機能と効率を向上する。

その結果、資源原単位は遞減し、構造、機能、効率は遞増する。一方、（資本としての）サプライチェーンの価値は構造蓄積により増加してゆく。社会構造としてのインフラシステムは、持続可能型に構成することによって、資源消費を減らしながら、それ自体の中に価値を蓄積してゆくことになる。資源エネルギー供給は人類活動のために必要なサービスであり、ある一定のスループットは必ず必要であるが、それが需要に的確に応答している限り大きく増加する必要はない。一方これが応答できないときに供給不安、いわゆる枯渇減少が起こるが、これが物質量ではなくサプライチェーンの機能不全によるものであることはこのインフラシステムの性格から理解される。

インフラ構築後も、構造物の維持とメンテナンス、ソフトとしての運用や運転にも資源が必要であり、

このためにエネルギーと資源の投入が必要である。これに循環エネルギーのいくらかが割かれる、これがなければ構造は維持されない。維持してもシステムの構造機能、つまり蓄積低エントロピーは増えないが、エントロピー排出は起こる。

またサプライチェーン自体の本質的な性質としての構造の高度化機能は、常に研究開発による進歩を要求する。これにもコストが必要であり、システムの高度化は生活圏の間の競争において決定的な重要性を持つ。この資源要求は、増産といった形でのスループットの増加を伴わなくとも必要であるが、サプライチェーンとしてのインフラシステムの機能の上で資源スループットの増減を行ってもその必要量は大きく変わらず、従量性は低い。これが、多くの生活圏サプライチェーンにおいて限界費用がゼロに近づく原因として、システムダイナミクス的に考えられる説明である。

図6に、製造業及びサービス業の売り上げに対する研究開発投資の比率とその変化を示す。どのような業種でも、技術進歩のための投資を怠ることはなく、常に進歩を続けなければ生産を続けることもおぼつかない。原材料やエネルギー消費の大きな業種では相対的に研究開発投資は少なくなる。個々の開発は成功することも失敗することもあるが、総体としてみたときに技術は常に進歩し、生産性や効率や歩留まり、製品の性能は向上する一方、使用資源量は減少する。個々の製品のすべてで、資源依存性は減り、技術依存性と付加価値は増大する。

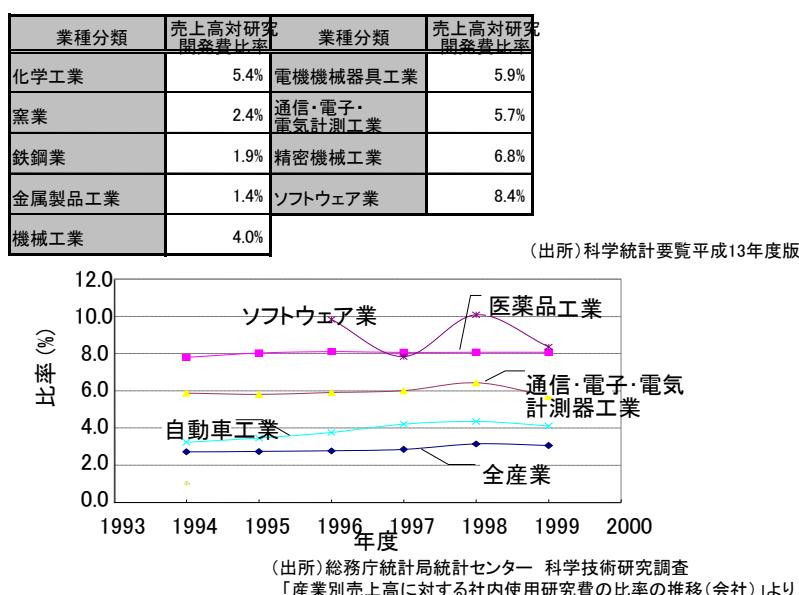


図6 各業界の売り上げに対する研究開発投資

人類の生活圏は、エネルギーと資源のサプライチェーンであるが、現在先進国で見られる多くのシステムは、19世紀から20世紀に構築されたものであるため、資源とエネルギーの大量消費と高成長に適したものであることが多い。現在の先進国群が、社会構造、つまり資源とエネルギーの供給システムとして持続可能型インフラシステムを指向しているとしても、過去の蓄積としてのインフラを形成してきた先進国群は帝国主義や高度経済成長社会によって建設された構造の上に生活している。つまり「生活圏サプライチェーン」は、必ずしも今後の方針性に適した状態になっておらず、社会的な構造変革は時として大規模なスクランプアンドビルトを必要とする。あるいは、耐用年数によるシステム更新に従った極めて漸進的なものとなり、長期間を要することもある。

図4にみられるように、国ごとに富を得るためのエネルギー消費量が異なることは、その裏にある社会インフラの構造が大きく異なることを示唆している。高度経済成長を達成するのに、比較的大量の資源を消費する産業を育成した国と、高付加価値型の産業となった国、あるいは交通システムを取っても、自動車主体の国と鉄道等のインフラを整備した国との差は現れる。

### 3. 低炭素エネルギーシステム

社会インフラのほとんどすべてが何らかの形での資源エネルギーサプライチェーンであることを

考えれば、エネルギーシステムはその一つの典型例として容易に分析評価することができる。特に低炭素エネルギーシステムと言われる再生可能エネルギーや原子力は、資源依存性の少ないエネルギー、つまり逆に言えばシステム依存性の大きなエネルギーとしてみることができる。これらのすべてについて、低炭素性とともに資源依存性は計量可能であるが、そのサプライチェーンは、消耗性の資源需要は少なく、インフラに相当するシステムの比重が大きい。原料となる変換前のエネルギー、例えば太陽光や風そのものは無尽蔵で無料であるにもかかわらず、注意すべきは、それでもサプライチェーンの随所に、供給曲線に相当する供給制約があり、したがってスループットの上限、供給不整合が起こりうるし、実際いくつかの局面すでに発生している。

例えば太陽光や風力ではそれぞれ日当たりのよい屋根のような場所や風況が良く電力網への接続の容易な立地は限られており、しかも条件の良い場所から優先的に使われるため、普及率が上昇すると設置費用は高く、総合的な効率は減少する傾向は避けることが難しい。しかも、元のエネルギー密度が希薄な自然エネルギーでは、設備を大型化しても効率が増大することではなく、スケールメリットが得にくい。これは、化石燃料資源や原子力が増設速度、つまり成長率や単位面積や単位プラント当たりの出力を容易に大型化することができ、そのために高度成長社会で優位な技術となったことと比べても大きな欠点となる。

### 風力発電のサプライチェーン

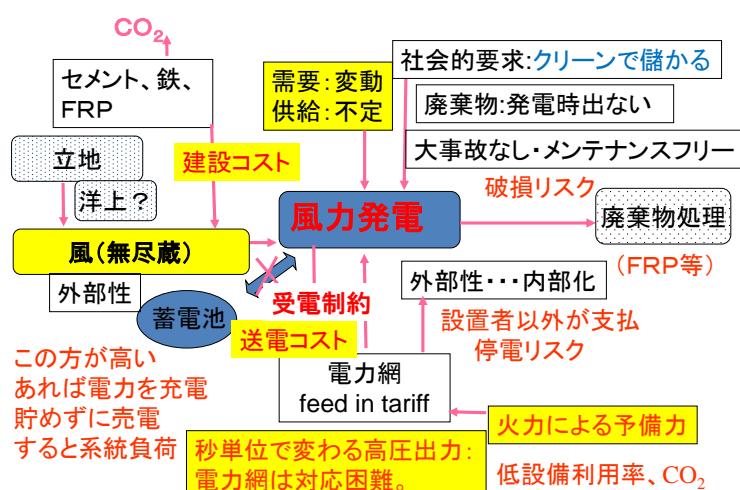


図7 風力発電のサプライチェーン

もう一つ大きな制約は、太陽光や風力が本質的に変動し、需要への対応力を持たないことと、接続する電力系統がその変動を吸収し安定化することが困難である問題がある。これはすでに我が国の多くの場所で再エネの接続拒否問題として発生している。これらの問題は結局のところグリッドの安定性に帰着するが、大型で安定性が高くしかも制御技術の成熟した電力グリッドは欧州、米国、日本などのごく限られた先進国地域にしか存在しない。途上国の電力グリッドの極めて多くが小規模でかつ厳しい需給下にあることを考えれば、再エネの導入は今後の電力需要の大半を担う途上国において実は厳しい状況にある。従来型の再エネである水力発電にこの問題は発生せず、むしろ水力は需要の変化に対して極めて短い時定数と大きな変動容量で対応できる優れた電源といえるが、発電量は降水に依存する。バイオマスも、資源は再生されるがその再生速度は植物の光合成であり、それによって制約される。特に、かつての先進国における高度成長経済と化石燃料エネルギー・システムの関係を考えるとき、供給量の成長速度において途上国への導入には大きな制約があると言わざるを得ない。

今後の途上国におけるエネルギーインフラは、まだ成長指向にあり、成長率やエネルギー密度には高い関心があるだろう。しかし、これから近未来に主に製造されるエネルギー機器やシステムは、現在先進国で開発の進むそれである。それらはリープfrogging効果によって最初から途上国に導入されることもあれば、高度成長を求める新興国経済には適さないという問題を抱えている。低炭素エネルギー・システムを21世紀後半を見据えて世界の主力とするためには、途上国にインセンティブを与えるメカニズムが必要であろう。

前述のように低炭素エネルギーに分類される再生可能エネルギー・原子力は、利用可能なエネルギー量と資源消費や運転コストの間にほとんど依存性がなく、極めて技術や設備の比重が高いため、マージナルコストの低いエネルギー源である。社会がエネルギーインフラとして低炭素エネルギーのみで構成されるエネルギーを使用する場合、限界費用ゼロ、定額制のエネルギー・サービスとなる可能性は高いといえる。エネルギーはもともと化石資源を使用していてさえ、サプライチェーンの構築にかかる投資やシステムの維持の比重は小さくない。これが、資源に依存せず、さらにIT化などによりよりきめ

細かな需要対応をインフラに求めれば、システム自身の持つ資本的価値は大きく、一方エネルギー・スループット自体は停滞ないし高効率化により減少の方向にある。先進国のエネルギーインフラは、低炭素化の進行に若干先んじて持続可能型に移行しつつあるといえるだろう。

低炭素化エネルギー・システムの最大の目的は言うまでもなく二酸化炭素放出の削減にある。再エネや原子力が二酸化炭素削減に大きな効果があることは言うまでもないが、化石燃料の使用に伴うCCS(Carbon dioxide Capture and Storage)の導入、消費者サイドにおける太陽光や蓄電池、燃料電池の導入も、二酸化炭素の削減に加えてエネルギー・インフラの双方向化、ネットワーク化を進めて、やはりエネルギー供給の技術とシステムへの依存性を高めることとなる。これらのエネルギー技術はただし、ライフサイクル上はその製造時に放出する二酸化炭素は決して無視できず、しかも製造時に放出した二酸化炭素がその後長期にわたって温室効果を及ぼしうる。また例えば太陽光パネルの原料となるシリコンは中国などの廉価で炭素依存性の高い電源を用いて作られ、その排出は購入国の責任にはならないことも留意すべきであろう。

#### 4. 価値創出

持続可能なエネルギー・システムと低成長一限界費用ゼロ社会との関係は、エネルギーを利用した社会システム構造の構築、すなわちエネルギー・スループットが負のエントロピー創出(とそれ以上のエントロピーの系外への排出)と等価であるということによって、関連付けることができる。エネルギーの再生可能性と低炭素性は、もともとのエネルギーを蓄積した段階において構造形成を伴っている。化石エネルギー資源は、二酸化炭素を植物が還元し、高度な構造を持つ化合物として蓄積される段階で長い時間をかけて光の持つ高質のエネルギーを変換し、エントロピー放出を行った結果であるので、低エントロピー資源でもある。単に化学的なエネルギーを蓄積しているだけでなく、大気中に分散されていた二酸化炭素も、ごく限られた容積の中に集中して濃縮されている点において、極めて大量のエントロピー放出を長時間かけて支払い、その代価としての価値(負のエントロピー)を蓄積した結果とみなせる。化石エネルギー資源も、地質学的時間スケールで見れば再生可能ではあるのだが、その二酸化炭

素濃縮回収に相当する価値創造と蓄積の部分は、たとえ二酸化炭素放出をゼロにしたところで容易に回収できるわけではない。

核エネルギーも再生可能エネルギーと並んで典型的な資源依存性の低いエネルギー・システムとともに大きな低エントロピー蓄積成分も持っている。それは地球発生後に蓄積されたものではない、宇宙的時定数を持つ。エネルギー使用は、それを用いて高度な生活圏を構築する人類の場合、大量の負のエントロピー蓄積を伴い、それが価値創出となる。価値創出は相応のエントロピー排出が必要であり、持続可能なエネルギー・システムにおいてはこの流れも無視することはできない。

このエネルギー流通に伴う生活圏内での負エントロピーの蓄積は、生活圏サプライチェーンの構造構築で観測される。構造は情報量=確率の逆数の対数として、熱力学的次元（単位）を持つ。

この構造構築において、物質はその媒体として使用されるが、消費されるわけではない。また物質量と構造量は無関係であり、理想的には極めて少ない物質を用いて大量の情報を記録することができることは、現在の様々な情報デバイスや生物における遺伝情報を見れば明らかであろう。インフラ構築は、建造物の建築や土木工事などによって、地球上でかなり大きな物量を移動して構造量を蓄積している。しかし大量の鉄鋼材やコンクリートを使用しても、それは消費（損耗して環境中に分散してエントロピーを増大）するのではなく、実は自然界から特定物質を抽出し、濃縮し、合成変換して構造を形成している。メンテナンスは、構造崩壊（エントロピー増加）の防止作用であり、システム運転は、エントロピー排出運動（情報蓄積作用）、研究開発も情報蓄積を行っている。これらはすべて、エネルギーを使用してエントロピーを排出する一方では、高度な構造の形成や物質の濃縮や偏在という形で、価値を創出する行為とみなせる。エントロピー収支は原理的には評価可能である。

これまで、価値は低エントロピーの蓄積という形で計量されてきた。もっとも簡単に理解できる例は、金という金属元素の採掘と精錬であろう。この物質は地球上に相応の低濃度で存在しているが、鉱脈という形で濃縮されている部分はまれである。さらにそれを物理的化学的に濃縮するプロセスは、大量的エネルギーを要するが、基本的にはそのエネルギーは単にエントロピーを部分的に下げるために

のみ使用されている。その結果人類が濃縮し回収した金は、世界全体で大体プール2杯分と言われる。それ自体が際立って有用であるとか価値が高いというわけではなく、物質量としても大きなものではない。大量のエネルギーを投入し、エントロピーを下げた状態を蓄積した、という象徴として、金という財は計量される。同位体分離プロセスも、エネルギーからの価値創出の一つの典型であろう。水から重水を抽出する、あるいは天然ウランから濃縮ウランとしてウラン235を抽出するには、膨大なエネルギーと技術と設備を使用する。しかしその結果得られるものは、原料と同じ水、原料と同じウランである。分離された同位体はそれぞれ有用であり価値があり、現実に極めて高価であるが、化学的にはもとのウランや水とほとんど変わらず、ただ、同位体組成のみが異なる。物質としても、増減はほとんどない（少し損失はする）。つまり物質そのものに価値があるというわけではなく、この価値は分離作業によって創出されたもので、エネルギーが変換されたものである。これは放置すれば混合してエントロピーは増大し、価値は失われる。

IT化、情報化が価値創出、資源消費を伴わない情報構造蓄積の効率を大幅に拡大させた。現在、金や気象物質に変わる価値基準として、ビットコインに代表される仮想通貨が発生し、使用されている。これも原理は同じであって、大量のエネルギーをコンピュータに投入し、計算量を蓄積して低い確率を持つ数列を蓄積する。この価値は低エントロピーそのものであり、物質媒体に寄っていない。純粋にエネルギーの次元を持つ情報として、価値が存在している。もっとも、このような情報の価値は、文学作品、音楽等の芸術的活動、科学研究活動でも同様にみられる人類の価値創造であり、これらが物質資源の消費とほとんど無関係であることは容易に理解できる。人類は、技術により価値を物質から分離し、純粋にエネルギーの次元を持つものとして抽出することができる。

価値が物質やエネルギーに帰属ないし付隨せず分離可能である、価値は物質ではなくそれらの存在様態、特に濃縮や分離や構造形成によって発生する、その構造や分布はエネルギーを用いたエントロピー排出によって創造される、という認識は、必然的に実はモノ自体には価値がない、という理解に帰着する。本章の主題である持続可能なエネルギー・システムは、この一連の考察によりサプライチェーン

の構成と変遷によって整理できることが結論できる。ここでエネルギー自体、あるいはエネルギー媒体自体は実は価値を持つわけではない。太陽光や風、あるいは河川を流れる川や地中に眠る石炭、石油、ウランにいたるまで、モノ自体ではなく、それを入手し、利用可能な形に変換し、需要者に届けるまでのプロセスでコストがかかり、価値が発生する。つまり、サプライチェーンの構成との運用のみが価値を持つ。そしてそのシステムが生み出すエネルギーのスループットと価値との間の関連は強くなく、むしろシステム構造、機能が価値の本質である。

このような特徴は、エネルギーだけでなく、食料や水など、生活必需品のすべてに共通である。つまり、極めて多くの人、あるいはすべての人がそれらを必要とし、無くなれば固体の生存にかかわるために、あまねく必要な量を必要なところに必要なタイミングで届けるためのシステムの構成が重要で、それのみが価値を持ち、実際モノとしてのエネルギーや食料、水などは価格としてはかなり安い。生活圏が成立していればこれらはすべての生物にとってこれらは当然通常の生存行動の中で得られるものであり、人類の場合もその例外にもれない。しかし人類は、技術とそれまでの世代の努力により、これらのサプライチェーンを資源と努力を投入して価値創造の中で作り上げてきたのである。

## 文献

---

- 1) C. Darwin, *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*, 1859, (read in Japanese translation)
- 2) R. Dawkins, *The selfish gene*, 1976
- 3) T. R. Malthus, Y. Nagai (translate), ISBN 4122000335, Chuko Bunko, Chuou Kouron Shinsha, 1973
- 4) S. J. Gould, *The Structure of Evolutionary Theory*, [http://www.stephenjaygould.org/library/gould\\_structure.html](http://www.stephenjaygould.org/library/gould_structure.html) 2002
- 5) FAO statistics yearbook 2004, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2004, ISBN 9250051514, FAO (2005)



### 1. 世界の人口問題

世界の人口は2015年には73億人に達し、2050年頃には約100億人となることが予測されている。特に後発開発途上国において急速な人口増が生じることが予測され、これらの国々が貧困や経済的不平等の撲滅、教育や衛生の制度の拡充、食料などの基本的サービスの拡充といった課題に対処するのをより難しくすることが予想される。他方、日本を含め、世界の約4分の1の国は、2050年までに人口減少に直面する。平均寿命の延長と出生率の低下により、人口の高齢化が世界的に見られ、労働人口の減少や社会保障制度への影響といった課題に直面する。他方、若年人口が依然相当な割合を占める国・地域もあり、若年人口への教育や雇用機会の提供などの課題に対処することが必要となる。国際的には、人口問題は、発展や環境の問題と相互に連関しているという認識が確立しており、これらの問題を一体として解決する視角が求められる。

### 2. 日本の人口問題

日本の人口は縄文時代からいくつかの波を経験しつつ長期的に増加してきたが、2008年～減少傾向に入った。人口減少は、日本の経済に対して、経済成長というフローフレームと資本基盤の維持管理というストック面の双方で悪影響をもたらす可能性がある。しかし、経済全体のフローでの成長が実現できなくとも、1人当たりのストックの豊かさを確保することは、政策次第で実現可能である。この方向で、人口減少下での豊かさを確保するために、ストックベースでの経済運営への移行と地方分権の実質化が必要となる。

### 3. 食料生産の持続可能性

食料サプライチェーンは太陽光による光合成だけでなく、外部エネルギーも投入して駆動される一つの物質エネルギー供給システムとして記述される。この食料スループットの拡大は成長率で記述でき、産業革命以降のエネルギー供給成長率が食料生産の急速な拡大を達成した。人口の拡大はマルサスに代表されるように成長率で表され幾何級数的であるが、食料供給のより大きな成長率が駆動した結果が急速な人口拡大である。人類のエネルギー・スループットはさらに拡大し、すでに人口増加はそれと乖離している。一方食料を介した物質エネルギー・サプライチェーンも他の生活圏システムと同様限界費用が小さく、市場経済に拠らないシステムも多い。多くの農業コミュニティは貨幣経済に拠らないシステムを完結している。一方国際的には距離や量に感受性の少ないサプライチェーンが形成され、食料供給システムは大都市のサービス産業化している。人口の都市集中もまた食料供給システムの世界的変化と対応している。

### 4. 持続可能な水供給

水のサプライチェーンも消費ではなく地球上の循環ルートをバイパスして利用する。インフラとしての設備を構築、運転、保守することに資源が投入されていて、限界費用は低い。そこではエネルギーを投入してエントロピーを減少して需要者に送付分配している。水の多くは洗浄や冷却等物質エネルギー・移送媒体として使われ、使用後の水は自然循環に戻る。地下水や河川水には固有の再生時定数があり、スループットには制約がある。海水の淡水化や循環処理によって、エネルギー供給によってスループットを増加することが可能である。排水も自然界の再生時定数を超える場合必要に応じて排水もエネルギーを投じた処理が必要となる。農業生産にも大量の水を必要とするが、これは農作物の移送によりバーチャルウォーターとして水移送を合理化している。水供給システムも、エネルギーと技術により持続可能なシステムとして構築できる。

## 1. 世界の人口問題

高村 ゆかり

### 1. 世界の人口の現状

国連が2015年に発表した「世界の人口の展望：2015年改訂版（The 2015 Revision of World Population Prospects）」によると、2015年半ばには、世界の人口は73億人に達した。ここ12年で10億人増加したことになる。

73億人の人口の地域分布は、約60%（44億人）がアジア、16%（12億人）がアフリカ、10%（7.4億人）が欧州、9%（6.3億人）がラテンアメリカ・カリブ地域、残りの5%が北米とオセアニアである。中国（14億人；世界の19%）が世界最大の人口を有し、インド（13億人；世界の18%）がそれに続く。

年齢構成を見ると、世界人口の26%が15歳未満、62%が15-59歳、60歳以上は12%である。

世界の人口は、この間増加し続けている。ただし、その増加の速度は徐々に緩やかになっている。10年前は年1.24%増加していたが、現在年1.18%のペースで、毎年8300万人増加している。

### 2. 世界の人口の予測

世界の人口は、これからも増加し続け、今後15年のうちに10億人以上増加すると予測され、2030年に85億人、2050年に97億人、2100年には112億人になると予測される。

特にアフリカにおいて、出生率は近い将来相当に低減すると見込まれるが、それでも急速な人口増加が予測される。その結果、世界人口に占めるアフリカの人口の割合は、現在の16%から2050年には25%に、2100年には39%に増加する（他方、アジアの人口の割合は、現在の60%から2050年には54%に、2100年には44%に低下する）。したがって、アフリカの人口増がどのように進行するかが、今後の世界の人口規模や人口分布に大きな影響を与えることとなる。

将来の人口増の特徴の一つは、48カ国のいわゆる「後発開発途上国（LDCs）」（うちアフリカ諸国が27カ国）においてその増加率が高いことである。後発開発途上国は、国連開発計画委員会（CDP）が認定した基準に基づき、国連経済社会理事会の審議を経て、国連総会の決議により認定される。認定基

準は、①1人あたり国民総所得（GNI）、②HAI（Human Assets Index）（人的資源開発の程度を表す指標で、栄養不足人口の割合、5歳以下乳幼児死亡率、中等教育就学率、成人識字率を指標化したもの）、③EVI（Economic Vulnerability Index）（経済的脆弱性を表す指標）の3つに基づいて決定される。LDC諸国の人団は、2015年時点の9.5億人から、2050年に19億人、2100年に32億人に達すると予測され、最も貧困な国々において人口増が集中することが予測される。そのため、これらの国々が、貧困や経済的不平等の撲滅、飢餓や栄養不良への対応、教育や衛生の制度の拡充、食料などの基本的サービスの拡充といった課題に対処するのをより難しくすることが予想される。

また、2020年までにインドの人口は、中国の人口を超えることが予測されている。インドの人口は、ここ数十年にわたって増加し続け、2015年の13億人から、2030年に15億人、2050年に17億人に達すると予測される。それに対して、中国の人口は2030年頃まで14億人の水準を維持し、その後少しずつ減少していくと予測されている。

LDC諸国やインドなどと対照的に、世界の48カ国においては、これから2050年までの間に人口が減少すると予測される。特に、日本を含む数カ国は、2050年までに現状から15%以上人口が減少すると予測される。

今後の人口の予測を大きく規定するのは、出生率であるが、他方で、人口の統制を行うには課題も少なくない。人口問題は、各国の主権の下にあり、国家の意思を無視した国際的な介入や強制は認められない。また、全てのカップル及び個人が、その子どもの数、産む間隔、時期を、自由に且つ責任を持って決定する基本的権利、かかる決定を行うための情報及び手段を有する基本的権利、並びに、最高の水準の性と生殖に関する健康を得る権利＝「リプロダクティヴ・ライツ（reproductive rights）」を保障しつつ、人口問題に効果的に対処する施策を検討・実施しなければならない。

### 3. 平均寿命の延長と高齢化

世界の平均寿命は、近年延長しており、2000年

-2005 年の 67 歳から、2010 年-2015 年に 70 歳に延びた。世界のあらゆる地域で平均寿命の延長が見られるが、特にアフリカでの平均寿命の延長が顕著である。

2045 年-2050 年には、77 歳に、2095 年-2100 年には 83 歳に平均寿命が延びると予測されている。特にアフリカでは、21 世紀末までに平均寿命は 19 歳延びるとの予測である。このような平均寿命の延びが現実のものになるかは、HIV や他の疾病の対策がいかに進展するかによる。

こうした平均寿命の延びと出生率の低下を要因として、人口の年齢構成の変化、特に 60 歳以上の高齢人口の拡大＝人口の高齢化 (population ageing) が今後の課題の一つである。

2015 年時点で、60 歳以上の人口は約 9 億人で、世界人口の約 12% を占めていた。2050 年までに、アフリカを除く他の地域では、60 歳以上の人口は 25% かそれ以上になる予測である。2030 年には 14 億人、2050 年には 21 億人、そして 2100 年には 32 億人にまで増加することが予測される。

こうした人口の高齢化は、潜在扶養指数 (Potential Support Ratio ; PSR) (20 歳-64 歳人口 / 65 歳以上人口) の低下という形で示されるように、退職者一人を扶養する労働者数の減少という問題を生じさせる。日本の潜在扶養指数は世界で最も低く 2.1 である。こうした人口動向は、労働者人口の減少による財政への影響、政治への影響、社会保障への影響など実際に深刻な影響をもたらしうる。人口の高齢化は顕著な特徴だが、他方で、特にアフリカをはじめとする途上国においては、若年人口の占める割合は依然高く推移する。例えば、アフリカでは、15 歳未満の人口は 2015 年に 41% を占め、15 歳-24 歳の人口は 19% を占める。これらの若年人口への教育、雇用機会、健康支援は、より生産的で能力の高い労働人口を確保し、貧困撲滅や生活水準の向上に貢献し、途上国における持続可能な発展の実現にとって死活的に重要である。

#### 4. 人口問題と発展・環境問題との相互連関

人口と発展の問題の解決には、相互に他方の問題の解決が不可欠であるとの認識が、初めて、そして、明瞭な言葉で語られたのは、1974 年のブカレスト会議で採択された世界人口行動計画 (World Population Plan of Action; WPPA) においてであった。WPPA の原則 (c) は、この点につき以下のよ

うに述べている。

「人口と発展は相互に関連している。人口変数は、発展変数に影響を与え、また、発展変数により影響を受ける。このように、世界人口行動計画の作成は、人口動向が社会的・経済的発展にとって重要であるとの国際共同体の認識を反映し、行動計画にある勧告の社会的・経済的性格は、発展が、人口動向に影響を与えるうえで果たしている役割の重要性に関する国際共同体の認識を反映している」

その 10 年後のメキシコシティ会議では、WPPA の行動計画を再度確認しながら、国家政策及び国際レベルにおいて、人口と発展に関する統合アプローチがとられることの重要性と、発展途上国の行動だけではなく、その目標達成への努力を支援する先進国と国際共同体の側の政策の必要性が勧告された。そして、1994 年のカイロ会議では、「持続可能な発展 (Sustainable Development ; SD)」の枠組において、WPPA が規定した人口と発展の相互関係の承認という基本原則を再確認し、発展途上国への新たな資金供与の必要性を確認した。

他方、人口問題と環境問題の連関については、エーリックのような一部の先駆的な論者が、人口増加が環境問題に与える影響をすでに 60 年代において指摘していたが、それが最初に国際的文書に登場するのは、1972 年の人間環境宣言においてである。前文の 5 は、実に楽観的ではあるが、「人口の自然増加は、絶えず環境の保全に関わる問題を提起している」が、「人間は、万物の中で、最も貴重なものであり」、「十分に適切な政策と措置を講じ」れば問題を解決しうるとした。そして、原則 16 は、「基本的人権を害することなく、かつ各国政府が適切なものと考える人口政策は、人口増加率若しくは過度の人口集中が環境上若しくは開発上悪影響を及ぼすような地域、又は人口の過疎が人間環境の改善と開発を妨げるような地域において実施されなければならない」とした。

「SD」の枠組において、人口問題、発展の問題、環境問題の相互関連性を承認し、かかる問題のいずれも、他の二つの問題の解決なしには解決しないことを明確に規定したのがブルントラント報告である。報告は、資源の有限性に鑑みて、世界人口が増加し続ければ、人口を維持し、生活の質を改善し、貧困を撲滅することはできないという見解を表明し、「SD」という概念から導き出される環境政策、開発政策の重大な目標の一つとして、「人口を持続

可能なレベルに維持すること」を掲げた。また、人口問題を単なる人口総数の問題ではなく、一人一人の人間の進歩と平等という観点からとらえられるべきことを提唱したのもこの報告である。こうした方向性は、1992年 のリオ宣言に受け継がれ、宣言の原則8は、「国家は、持続可能な発展及び全ての人民のより質の高い生活を達成するために、適切な人口政策を推進すべきである」としている。

その2年後に採択されたカイロ行動計画は、「SD」の枠組で、しかし、今度は人口問題の視角から、人口、発展、環境の三つの問題を位置づけた。行動計画は、「継続した幅広い貧困、深刻な社会的的不均衡が、人口増加や人口構成、人口分布といった人口学的パラメータに、重大な影響を有しており、逆に、こうしたパラメータによって影響を受けていること」、「持続的ではない消費及び生産パターンが、天然資源の持続的ではない利用、環境の悪化、上記の人口学的パラメータへの影響を伴う社会的不均衡の拡大に寄与していること」について、国際社会全体の合意がある、とし、そして、「人口増加がより緩慢になれば、貧困と闘い、環境を保護し復元し、将来の持続的発展のための基盤を築く能力を高めることができ」、「貧困の撲滅により、人口増加を抑え、早期の人口の安定化を達成することができる」と述べている。

このようにして、人口問題が、国際社会にとって解決を迫られている発展、環境という二つの問題と相互に関連しあい、それぞれの問題の解決は他の問題に依拠しているという認識が、国際社会において確立した。特に、発展途上国において人口が急増し、当該途上国が急増する人口を養うに足る経済力を伴っていない場合には、食糧不足や、健康・医療サービスの不足を生じさせうる。さらには、急増する人口に労働機会の拡大が追いつかず、失業率の上昇

や低賃金労働を生じさせうる。その結果、発展途上国は、国内に、経済的、政治的不安定要因を抱えることとなり、同時に、南北間の経済的格差がさらに拡大する可能性がある。このことは、単に発展途上国の側に不安定要因をもたらすにとどまらず、先進国にとって安定した輸出市場、輸入產品の供給基地の確保を困難にし、また、経済難民・環境難民の国外への流出など人口の国際移動により、先進国にも大きな影響を与える可能性がある。

## 文献

- 1) 高村ゆかり 「人口問題の国際化と国際法」、野村好弘・小賀野晶一編『人口法学のすすめ』、信山社、1999年、366-387頁。
- 2) United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, *World Population Prospects: The 2015 Revision, Volume II: Demographic Profiles* (ST/ESA/SER.A/380), United Nations, 2015.
- 3) P. Demeny, 'International Dimensions of Population Policies', P. Demeny & G. McNicoll eds., *The Earthscan Reader In Population and Development*, Earthscan, 1998, p. 210.
- 4) P. Ehrlich & A. Ehrlich, *The Population Explosion*, Hutchinson, 1990.
- 5) B. B. Crane & S. L. Isaacs, 'The Cairo Programme of Action: A New Framework for International Cooperation on Population and Development Issues', *Harvard International Law Journal*, Vol. 36, 1995, p. 302.

## 2. 日本の人口問題

倉阪 秀史

### 1. 日本の人口の長期的な推移

鬼頭宏『人口から読む日本の歴史』(講談社学術文庫)によると、過去1万年間に、日本の人口には4つの波があったことが指摘されている(図8)<sup>1</sup>。

日本人口の趨勢：縄文早期～2100年

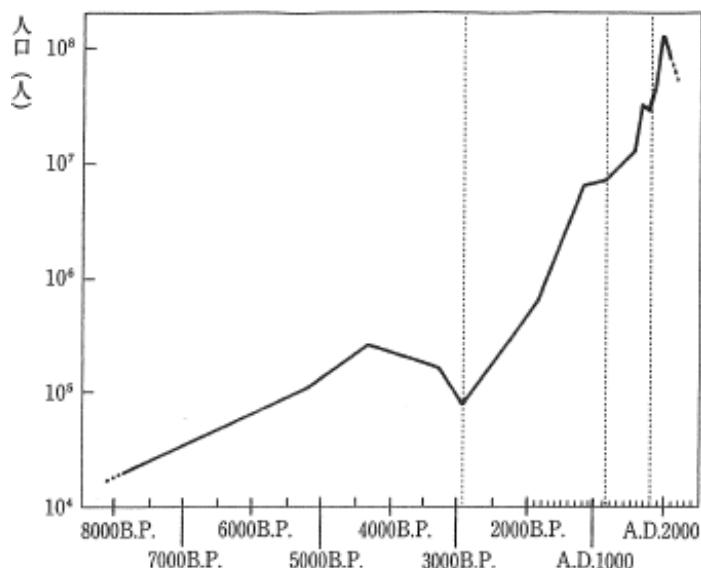


図8 日本人口の趨勢

(出典)鬼頭宏『人口から読む日本の歴史』(講談社学術文庫)p. 19

第一に、縄文時代の人口循環である。縄文時代には、早期の2万人から中期の26万1千人まで増加したが、後期16万人、晩期7.6万人と人口減少が認められたという。これは、気候の寒冷化とともにあって東日本で人口が激減したことによるものと考えられている。第二の波が、弥生時代から10世紀以降にかけての人口増加である。縄文晩期に減少した人口は、稻作農耕とその普及によって回復し、10世紀頃(平安時代初期)には650万人程度に増加した。鬼頭によると、その後人口増加は停滞するものの、14・15世紀に第三の人口成長の波が始まり、18世紀まで継続したとしている。1600年の人口の推計には幅があるものの1000万人から1500万人程

度とされた。江戸前期の人口は成長し、幕府の人口調査では1721年に2605万人となった。しかし、江戸後期の人口は停滞し、1846年の人口調査では2684万人とされている。鬼頭は、第三の人口の増加の背景には、経済合理性に基づく行動が浸透したことがあると指摘する。そして、第四の波が、19世紀以降の工業化に伴う人口成長である。鬼頭によれば、1872年の日本の戸籍人口は3481万人であり、その後、1900年に4385万人、1967年に1億人を超えるに至った。

### 2. 今後の人口減少の見通し

鬼頭が指摘する第4の波はもはや終了し、日本の人口は減少期に向かっている。日本の人口が2008年をピークに減少傾向に転じたのである。図9は、国立社会保障・人口問題研究所の人口予測に基づく日本の人口の長期的推移である。2017年4月に公表された2065年までの日本の将来推計人口では、合計特殊出生率が2065年に1.44まで回復する予測としており(従前の推計では、2060年に1.35)、若干人口減に歯止めがかかる見込みとなっているが、全体傾向としては大きくは変化しないことがわかる。

1945年の減少は第二次世界大戦の影響である。このときには、1年間に230万人の人口が失われたが、翌年から人口は回復している。2100年には6000万人を割り込み、おおよそ大正時代の人口に戻っていくことが予測されているが、今後見込まれる人口減少は、2060年まで平均して年間80万人以上の人口が失われていくペースとなる。この人口減少とともに、高齢化が進行していく。このため、人口が減少する以上に生産年齢人口が減少することとなる。日本は、経済社会の持続可能性という観点から見れば、大きな転機にさしかかっているといえる。

<sup>1</sup> 鬼頭宏(2000)『人口から読む日本の歴史』(講談社学術文庫)

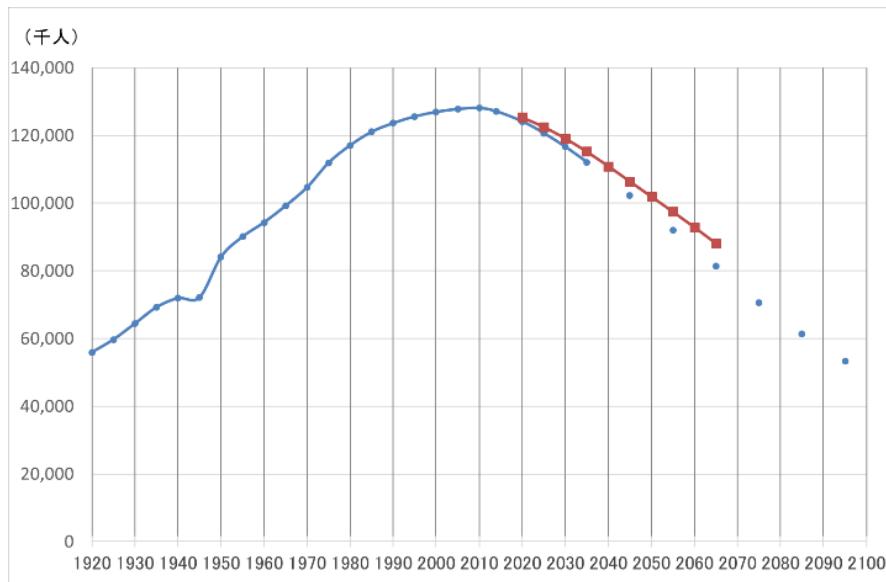


図9 日本の人口の長期的推移

(出典) 総務省「日本の統計 2016」より筆者作成。大正9年～平成17年、22年は国勢調査（昭和20年は人口調査）による人口（総人口に年齢不詳を含む）。平成18～21、23～26年は国勢調査人口を基礎とした10月1日の推計人口。昭和20～45年は沖縄県を除く（昭和25年以降は総人口の総数、男女及び年齢3区分別人口には沖縄県を含む。ただし、昭和25年の年齢3区分別人口は沖縄県を除く）。将来人口は、平成22年国勢調査人口等基本集計結果及び同年人口動態統計の確定数が公表されたことを踏まえた、国立社会保障・人口問題研究所による各年10月1日の中位推計値。及び、日本の将来推計人口（平成29年推計）の出生中位（死亡中位）推計（2020年から2065年までの線）。

### 3. 人口の減少がもたらすもの

人口減少は、日本経済に対してさまざまなマイナスを与える可能性がある。

まず、フローレンスでの悪影響である。これには、生産面と消費面の双方への悪影響が想定できる。生産労働人口が減少することによって生産力が減少する。また、人口減少によって、国内の需要が減少し、景気が減退する可能性がある。

ただし、人口減少下でも経済成長ができるという主張も存在する。たとえば、経済産業省のグループは「（人口減少という制約要因は）一人ひとりの能力を高め、生産性を高め、あるいはアジアで産業構造を生産性の高い分野にシフトしていくことによって克服可能です」と述べ、2015年までの年平均の実質成長率で2.2%の成長が可能だと主張した<sup>2</sup>。この目標は2006年に財政・経済一体改革会議が定めた「経済成長戦略大綱」にそのまま取り入れられている。

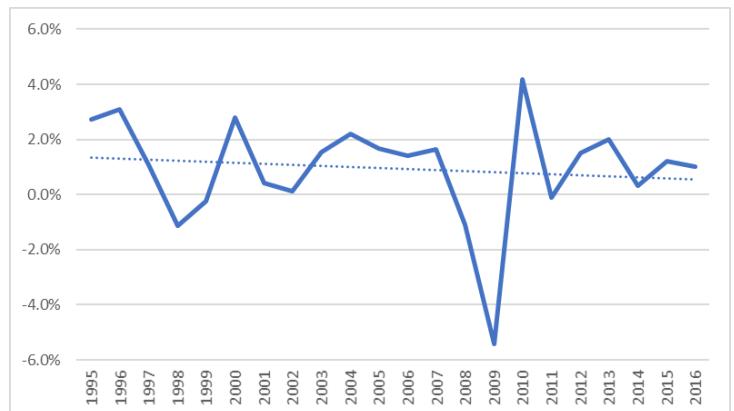


図10 日本のGDP成長率の推移(実質ベース)

(出典) 「国民経済計算年次推計」より「国内総生産（支出側、実質：連鎖方式：平成23年暦年連鎖価格）」

しかし、経済成長戦略大綱以降、日本のGDPの実質成長率は、図10のように、長期的減少傾向に歯止めがかからない状況である。このような現実に直面しても、経済学者の間にはびこる成長信仰には根強いものがある。吉川洋は、次のように述べる。「あたかも人にとって一点でいつまでもじっと静止しているよりも、それぞれが自分に合ったペースで歩行しているほうが心地よいのと同じように、成熟し

<sup>2</sup> 北畠隆生、大下政司、齋藤圭介(2006)『人口減少下での「新しい成長」を目指す「新経済成長戦略」を語る』経済産業調査会

た先進国においても、それぞれの経済にあった経済成長のほうが、ゼロ成長よりもはるかに自然だ。ゼロ成長の下では現役世代とりわけ若い人たちの雇用は劣化していかざるをえない。こうした観点からもやはり経済成長は必要だ。これが私の考えである」。そして、プロダクト・イノベーションが「先進国の経済成長を生み出す源泉」であると主張する<sup>3</sup>。

1人当たり生産性に生産年齢人口を掛け合わせたものがGDPであるとするならば、生産年齢人口が減少する場合、その減少率を上回る率で1人当たりの生産性を引き上げないと、GDPの対前年度成長は見込めない。需要面についても同様であり、人口減少に伴う内需の減少を補えるだけ、国外の需要を奪わない限り、経済成長は見込めないのである。その実現可能性について検証することなく経済成長が可能であると述べても説得力はなかろう。前述した経済産業省のグループは、みずからの戦略を「新戦略」と名付けたが、その言葉の中に、「これから人口が減る社会の中でも、成長するという姿を示したい。これが新しい成長だ」という思いを込めている」と綴っている。きわめてエモーショナルに成長に執着する姿は滑稽でもあり、有害でもある。

人口減少による悪影響はフロ一面にとどまらない。ストック面での悪影響も重要である。これは、各種資本基盤ストックの維持管理を行うための負担が軽くなること、ストックの質が悪化することが懸念されるということである。われわれの経済は、さまざまな資本基盤によって支えられている。資本基盤とは、有用性を与えるメカニズムを備えた存在であり、有用性を与えることによってそのメカニズムはなくなるものと定義される。主要資本基盤には、人的資本基盤、人工資本基盤、自然資本基盤、社会関係資本基盤の四つの種類がある。これら資本基盤は、適切に「手入れ」（ケア・メンテナンス）されないと、資本基盤のメカニズムの持続時間が短くなり、資本基盤の有用性が減退する。

人口が減少し、高齢化することは、人的資本基盤のケア（とくに介護・医療）が従来以上に求められることを意味する。また、上下水道管、道路などの社会インフラと呼ばれる人工資本基盤の1人当たりの維持管理負担が増大していくことも意味する。さらに、人の手が入ることによって維持される自然

資本基盤（人工林、農地など）は、十分な人手がはいらなくなり、その質が劣化する。これは、生物多様性国家戦略でも認識されている、人の手が入らないことによる自然の質の劣化といえる。最後に、人と人との支え合いを維持するためには、適度な人口密度が保たれる必要があるが、この点でも人口減少が悪影響を及ぼす。

#### 4. 人口減少時代の豊かさとは何か

では、人口減少は、日本経済の衰退なのだろうか。都市計画の立場から、中山徹は、「人口や産業が減少するというと、地域の衰退を推奨しているかのようなイメージになりかねません。しかしそうではありません」と述べる<sup>4</sup>。ポイントは、計画的な市街地の縮小にある。中山は「計画的な市街地の縮小を進めることができれば、従来と同じ生活を、同じ負担で送ることができます。さらに、空いた土地を使って自然環境を大規模に再生できれば、都市環境が向上します」と主張する。

これは、前節の整理でいえば、ストックの豊かさは人口減少下でも工夫次第で実現できるという主張である。経済全体のフローでの成長が実現できなくとも、1人当たりのストックの豊かさを確保することは、政策次第で実現可能である。

また、中山の主張の後段は、人口減少にともなうメリットにあたる部分であろう。広井良典は、「現在よりも人口が多少減ったほうが、過密の是正や空間的・時間的・精神的なゆとり、環境・資源問題等々、様々な面でプラスであると考える方が理にかなっている」と主張する<sup>5</sup>。人口減少のメリットとして想定しうるもの列記すると、第一に、より少ない資源エネルギーの消費で経済を運営することができること、第二に、より少ない環境への負荷で経済を運営することができること、第三に、人間の居住のためのスペースがより少なくできること、第四に、限られた機会の他者との奪い合いによる悪影響を是正できることといったところであろう。

広井は、「人口減少社会への転換は、本当に豊かで幸せを感じられる社会を作っていく格好のチャンスあるいは入り口と考えられるのではないか」と述べる。「これから約50年は、高度成長期に起こったこととちょうど“逆”の現象が生じていくだろ

<sup>4</sup> 中山徹(2010)『人口減少時代のまちづくり 21世紀=縮小型都市計画のすすめ』自治体研究社

<sup>5</sup> 広井良典(2013)『人口減少社会という希望』朝日選書

<sup>3</sup> 吉川洋(2016)『人口と日本経済』中公新書

う。たとえば、1970年代に郊外の田んぼが住宅地に変わつていったのが、今後空き地や緑地・農地等に再び戻っていくといったように」と、楽観的な見通しを述べている<sup>6</sup>。

ただ、先に「工夫をすれば」「政策次第」と留保をつけて記述をおこなったが、人口減少社会のメリットを享受できるようにするためにには、政策立案者およびその政策に影響を及ぼす国民の思考のフレームワークを刷新することが求められる。この点は、広井が、「私たちが高度成長期の発想や価値観の枠組みの中で、あるいはその延長線上で物事を考える限り、人口減少社会は敗北あるいは“衰退”に向かって進行としか考えられないだろう」と述べているとおりである<sup>7</sup>。

経済的付加価値で経済の繁栄を測ることは、すでに人口減少に直面している日本の地方自治体の実態にそぐわなくなってきた。一方、適度な人口規模であれば、地域で得られる資源で持続可能な形で生活を支えることができる可能性がある。これが、「里山資本主義」というアイディアがさまざまな地域で共感をもって迎えられている背景にある。

藻谷浩介によると、「『里山資本主義』とは、お金の循環がすべてを決するという前提で構築された『マネー資本主義』の経済システムの横に、こつそりと、お金に依存しないサブシステムを再構築しておこう」という考え方」とされる。そして、藻谷は、「里山資本主義こそ、お金が機能しなくなても水と食料と燃料を手にし続けるための、究極のバックアップシステムである」と述べる<sup>8</sup>。

藻谷は、人口減少をポジティブに捉え、「マネー資本主義の下では条件不利とみなされてきた過疎地域にこそ、つまり人口当たりの自然エネルギー量が大きく、前近代からの資産が不稼働のまま残されている地域にこそ、より大きな可能性がある」と述べている<sup>9</sup>。これは「永続地帯」研究に通ずる指摘である。

「永続地帯」とは、筆者が提唱した概念で<sup>10</sup>、その区域で得られる再生可能エネルギーと食料によって、その区域におけるエネルギー需要と食料需要

のすべてを計算上賄うことができる区域を指す。2005年から環境エネルギー政策研究所との共同研究で毎年全自治体について、地域的エネルギー自給率と食料自給率を推計して公表している（詳細は、第1章第2節「再生可能エネルギーと今後の経済発展」参照）。この指標の役割としては、第一に、長期的な持続可能性が確保された区域見えるようすること、第二に、「先進性」に関する認識を変える可能性を持つこと、第三に、脱・化石燃料時代への道筋を明らかにすることの三つを掲げている。

図11は、永続地帯研究で把握された市町村の人口規模と地域的エネルギー自給率の関係を示す。地域的エネルギー自給率とは、域内の再生可能エネルギー供給量が、域内の民生用と農林水産業用のエネルギー需要量に占める割合であり、図中の矢印のついた線より上にプロットされた市町村は、この割合が100%を超えており、このような市町村は、2016年3月時点で71市町村存在する<sup>11</sup>が、人口規模の小さい市町村ほど可能性が高いことがデータで示されている。

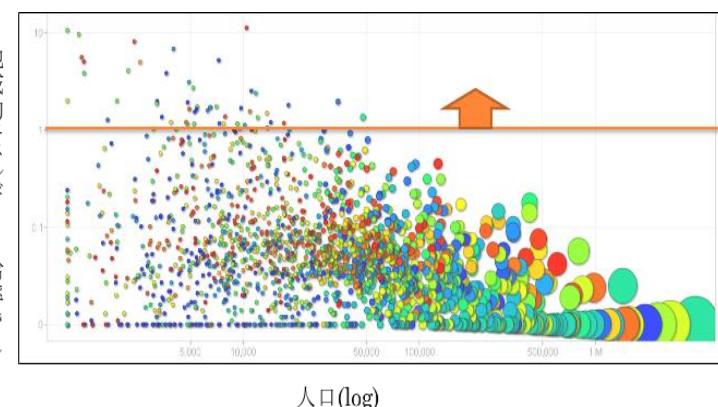


図11 市町村の人口規模と地域的エネルギー自給率の関係  
(出典)倉阪研究室+環境エネルギー政策研究所「永続地帯報告書」

## 5. 人口減少時代の豊かさを享受するために

人口減少下での豊かさを確保するための政策は二つの観点で政策運営のフレームワークを刷新することが必要となる。

第一に、経済運営の指標をフローベースからストックベースに移行させることである。経済全体の付加価値額を伸ばしていくことは、手段であって、目

<sup>6</sup> 前注に同じ

<sup>7</sup> 注5に同じ

<sup>8</sup> 藻谷浩介+NHK 広島取材班 (2013) 『里山資本主義』角川書店

<sup>9</sup> 前注に同じ。

<sup>10</sup> 倉阪秀史(2002)『環境を守るほど経済は発展する』朝日選書

<sup>11</sup> 倉阪研究室+環境エネルギー政策研究所(2017)「永続地帯2016年度版報告書」<http://sustainable-zone.org/>

的ではない。目的は、国民一人一人の幸せな暮らしであり、将来にわたっての繁栄である。経済全体の付加価値額が増加しなくとも、国民の人口に応じた健全な資本基盤ストックの持続可能性が確保できれば、幸せな暮らしと将来にわたっての繁栄は確保できるのである。具体的には、将来にわたってどの程度の資本基盤量を確保すべきかを社会的に合意し、必要以上の資本基盤を抱えないようにしつつ、資本基盤の手入れに要する労力やコストを貢える程度にフローの収益を確保するという資本基盤ストックマネジメントが必要となる（詳細は、第 6

章第 1 節「資本基盤の持続可能性」参照）。

第二に、地方分権の実質化である。資本基盤ストックの状況は地方によって異なる。また、それを支えうる再生可能エネルギーと食料生産の状況も同様に地域によって異なる。このため、補完性の原理に則れば、資本基盤ストックマネジメントの政策は、まず、地域主導で行われなければならない。そして、国が進める経済全体のフローの拡大の恩恵が、地方が進める資本基盤マネジメントに用いられるよう税財政の仕組みも変革される必要があろう。

### 3. 食料生産の持続可能性

小西 哲之

#### 1. マルサスの誤り

第1章で述べたように、食料はすべての生物にとってエネルギーを体内に取り込む手段であり、地球上の生物がそれを可能にするために作り上げたサプライチェーンにおいて、太陽エネルギーを起源に、複数の生物により構成される経路、「生活圏」でそれぞれの生物は他の生物の力を借りて(あるいはそれらを捕食して)入手している。現在においても、(食塩など一部の無機塩類を除いて)人類の食べるもののすべてが生物由来であり続けている。人類においてそのためのシステムの基本は技術的に構築したシステム、つまり農業であるが、その基本は変わらない。太陽光による光合成でエネルギーは二酸化炭素と水をそれぞれ還元して糖などの炭水化物の化学エネルギーに変換される。動物のみならず植物もその生体を構成する物質のうちより合成の困難なものはアミノ酸に代表される窒素化合物であり、さらに生体の遺伝情報を記録する媒体であるリン酸化合物である。これらの化合物を光合成過程に導入することにより、飛躍的にその変換効率は高まるが、その供給は自然界ではシアノバクテリアの作用や自然界における循環量に規制され、近代までの農業では大きく拡大することはなかった。ところが産業革命によるスループット増大、すなわち成長率はそれまでの農業主体システムに比べて圧倒的に大きく、それが食料生産を飛躍的に増加させたことは1章に述べた。

その結果の一つとして人類の人口も大きく拡大を開始した。ここで食料生産と人口の関係を考えることになるが、よく言われるマルサスの人口論は、実は逆に読むことができる。つまり、「人口が（幾何級数的に）増加したのであれば、相応する食料供給が幾何級数的に増加したことを証明している。」確かに人類の人口は出生率あるいは人口増加率のような形で表現できるから幾何級数的に増加するということができるが、人類の利用可能なエネルギー・スループットも同様に成長率で記述でき、それは産業革命以降の「採掘により増産できる」エネルギーの登場により、人口よりはるかに大きな数値が可能となった。農業に関して言えば、化石エネルギーによる肥料の合成、耕作などは農業生産性を大きく

向上した。つまり、食料生産の成長率が増加したために人口の増加がそれに追随したに過ぎない。人類は常に一人当たりエネルギー消費を技術進歩により増加していたのであり、それが成功した時期が人口の増加局面であり、それはエネルギー・スループットを飛躍的に拡大した産業革命以降顕著になったわけである。実際、経済成長率と食料増産率、人口増加は産業革命から少しくらいの期間まではリンクしていた。食料増産が停滞した時期、人類の人口は停滞ないし減少した。現実に、入手できる食料統計を見る限り戦後一貫して、途上国においても、食料生産の伸び率は人口増加率を上回っており、したがって一人当たり摂取カロリーも増加している。

しかし人類が自然放置に近い形での植物の光合成にエネルギー供給を頼る段階を過ぎ、経済発展段階のかなり低い国や地域でも一人当たりエネルギー消費が一人当たりカロリーの数倍を超えて以来、食料生産と人口問題はかなり以前から乖離していたと考えるべきである。現在でも、食料供給が人口に直結している、すなわち栄養ストレス下でギリギリのバランスで生きている人たち、あるいは容易に餓死できる状態の人たちは世界でも数億人レベルでかなり多く存在しているのは事実である。しかし、これは多くの場合、世界全体で食料生産が不足しているのではなく、それが入手できない、あるいは必要とする人に到達しないこと、がほとんどであり、実のところ食料生産が人口を制約しているわけではない。貧困が原因である例も多くみられるが、これも社会制度上、政治上の問題であって、食料が本当に希少であるがゆえに高価で買えない、ということは決して多くはない。そうした地域では農業生産は自給に近く、その生産性を向上するだけの投資（灌漑、施肥等）ができないのは社会的な問題である。むしろ食料価格も、長期的には世界レベルで下落している。しかしこれは、常に過剰生産と価格の低迷に苦しむ先進国の農業に対し減産圧力として働いており、途上国、ことに飢餓地域における食料供給に有利な現象ではない。エネルギーのところで述べたように食料はモノとしての価値はほとんどなくて、コストの大部分は太陽エネルギーを食料という人類に利用な形の媒体に変えて届けるため

の一連のサプライチェーンに払われている。しかも、特に食料供給が問題になるような国では、食料はそもそも商品ではなく商取引以外で利用者に届けられることが多い。

## 2. 食料生産とエネルギーシステム

前項で見たように、そもそも人類がその食料供給のほとんどを依存する農業自体が複雑なエネルギー変換システムであり、近代以前の農業においても、人力や動物を用いた耕作や開墾、降水の位置エネルギーや風力を利用した灌漑、農作物以外のバイオマスを用いた施肥など、太陽光以外の様々なエネルギーが投入されてきた。これが現代農業においては、化石エネルギー資源を用いたエネルギー変換の性格が強く、実際のところ現代の農業では太陽からの光エネルギーよりもはるかに多くの直接エネルギー、間接エネルギーが太陽以外のエネルギー源から供給されている。耕作や農業機械の運転、温室・ハウス栽培の加温は大量のエネルギーを消費するが、間接的に消費されている窒素、リン、カリウムに代表される植物代謝物質もまた工業的に製造されている。これらの物質スループットが植物やそれを取り巻く環境（例えば河川水等による供給）の制約を大きく超えて投入されうるようになったため食料生産が大幅に増大したことになるが、それは人間を通じる物質のスループットが外部エネルギー供給で駆動されていることを意味している。そしてその増加率が、化石エネルギーと高度経済成長モデルに特有の高い成長率であったことが食料生産のエネルギーシステムの量的拡大を達成したと同時に、人口増加の急激な増加を引き起した一因である。最大の生産量増加は「緑の革命」と呼ばれる一連の農業技術の進歩でもたらされ、これは人口増加率よりはるかに高い成長率を農業で実現した。その要素の中で大きなものは多収穫品種の投入であり、単位面積当たりの収穫量はほとんどの作物で2倍以上に増加した。つまり太陽エネルギーの食料への転換率が増加することで、サプライチェーンの中で人間を通じるエネルギーのスループットが増加したことになる。

第1章図3(10頁)に一般的に示したようなサプライチェーンは、その中のどれかの供給量が全体のスループットを制限し、極端な場合どれか一つの経路に障害が起きれば全体が停止する。代替経路があれば継続でき、バッファ容量があればその範囲内で停

止は免れる。また制約条件であった経路のスループットが拡大すれば、次の制約で制限されるまでは、全体のスループットが増大する。

生物界全体のエネルギー物質循環は太陽光エネルギーが駆動するものが多いが、その駆動メカニズムの最初は光合成であり、これは光の他にも気温や水、二酸化炭素や数種のミネラル成分の供給制約を同時に受けている。水や二酸化炭素は大気や降水から供給されても、農業は植物体を通じて土壤中のミネラルを抽出してしまうため、持続可能な生産のためには植物が土中から吸収するすべての元素は何らかの形で外部から供給を続けなければならない。

わけても窒素は、植物が直接空气中から摂取することができない一方、葉緑素やアミノ酸、すべてのタンパク質を構成する主要元素であるため、化合物（硝酸イオンやアンモニウムイオン）の形で投与（施肥）する。これにより植物の成長を著しく増進することができ、それがひいては、植物を起点とするすべての生物の物質スループットを大きく増加することになった。またリン酸はDNAやRNAの構成元素であり、やはり植物が土壤から吸収しなければそこから始まる食物連鎖に依存する生物の増殖を制約する。農業における物質循環は人間や家畜の排せつ物や他の植物体による堆肥により古代から行われていたが、化石燃料と同様に採掘による生態系への投入が可能になったのは近代、チリ硝石（硝酸アンモニウム）が19世紀初頭から使用されており、またリン鉱石を原料とする肥料も19世紀半ばころから利用された。化学的にこれら植物の必要元素（肥料）の合成が始まったのは20世紀で、ハーバー・ボッシュによるアンモニア合成は1913年であり、高圧に耐える材料技術が必要であった。このほかにも、カリウム、マグネシウム、カルシウムなど植物が必要とする元素は多いが、土壤や河川水からの供給が少なく、工業的な供給が重要なのがこれらの肥料であって、その合成は現在の人類の生存のサプライチェーンにおいて重要な要素となっている。

畜産も、現在はその生産量のうちの多くを飼料に依存しており、その飼料作物が農業生産に負っていることから同様に化石エネルギー資源を転換して肉、乳製品等にしていることができる。実際には畜産物は摂取カロリーについては穀物をそのまま食料に比べると数分の1から1/10程度効率が悪くなるため、先進国において起こる肉食の増加は、食料生産に伴うエネルギー効率を著しく下げて

いることになる。前述の食料統計による一人当たり摂取カロリーは穀物ベースで換算されていることが多いため、実際は余剰穀類が畜産により高付加価値化され、より富裕な国で一人当たりでは大量に消費されていることになる。

漁業は、人類全体で見たときの特にカロリーベースやたんぱく質換算でのエネルギー摂取においてあまり大きな割合は占めておらず、高々数%とされており、またその漁獲高は農産物ほど大きな増加を示していない。一方、漁業においてもエネルギー依存性は極めて多く、漁獲コストの極めて大きな割合は漁船の燃料で消費されている。農業と異なり、漁業では施肥や耕作が行われるわけではなく、技術進歩があっても海洋による水産物の再生速度が一定である限り、急速な生産量の増加は望めない。むしろ、漁獲技術の向上の結果として多くの水産資源が減少し、漁獲制限が必要となっているのは周知のとおりである。

この状況は一部の養殖漁業において大きく改善され、外部からの資源投入により養殖による水産物生産量の成長率は極めて高くなった。しかしこれも、養殖業に用いられる飼料のほとんどがフィッシュミール（魚粉）で作られており、つまり水産物であるために、畜産におけると同じように、養殖漁業のエネルギー供給依存性は高くなっている。

海洋は、このように漁業に関しては人類が物質循環システムそのものに農業におけるほど積極的に介入していないため、その物質スループットは大きく影響を受けていない。しかし、海洋における元素循環は、特に大洋の中心部で陸から大きく離れている場合と深海においては、比較的限られていることが知られている。海洋における二酸化炭素の光合成による吸収を促進するために、鉄イオンを人為的に供給する試みがある。陸上からのミネラル供給のある沿岸が、水産業で依然として大きな資源を有することも知られている。一方では人為活動による生活排水の流入、特に洗剤や肥料の流入による沿岸地域の過剰な富栄養化による水中生態系への擾乱も、問題となっている。

人類の直接の食料供給に大きな貢献はないが、森林は現状地球上の光合成では農業より大きな寄与をなしており、大気中二酸化炭素の吸収や、最終的に人類に到達する有機物の動向に大きな影響を持つ。森林の管理は林業という形で人為的には実施されており、これも農業と同様に地球上の植生を大き

く変えている。現在のところ施肥は行われていない。また有史以来の樹木の伐採とそれに伴う植林や、自然に更新される森林でも樹種は大きく変わってきたことが知られている。これは人為的であるかどうかを問わず、地中ミネラルや植物相互の依存競合関係によって変遷し、さらに言うまでもなく人類による伐採による森林の消失や砂漠化も問題となっている。食物に関連する植物の発見と育種、品種改良や新種の形成、クローンによる培養やバイオテクノロジーの利用など、人類は現在地球規模での物質循環に大量のエネルギーを用いて大規模な介入を行っている。今後は、食料生産を必ずしも主目的としなくとも、地球環境問題、特に二酸化炭素バランスを大気中濃度減少側に変化させようという多くの試みが新たな影響を与えることは予想される。

以上のように、人類の食料生産を支える様々なシステムはエネルギー物質サプライチェーンの典型例として、その特性は十分に分析可能である。その結果、これまでのところ化石エネルギーを中心とする外部エネルギーの大幅な投入とそれに特有の高成長率が、人口増加や今日の人類の繁栄を支え、駆動してきた主因といえる。少なくとも人類の人口がほぼ一定になると想定されている 100 億人程度までの食料供給と、そのために必要なエネルギー供給変換システムについては、現在も進む食料生産技術の進歩も考えれば、悲観論はほとんど根拠がないといえる。つまり食料供給の持続可能性はマルサス的な単純なメカニズムで危惧されるような、人類の生存を脅かす問題ではない。

人口、エネルギー、食料のサプライチェーンの関係はしかし、世界全体や特定国の統計からでは分析できないさらに複雑な因果関係も内包している。まず、農業や漁業の直接エネルギー投入は主に燃料であり、これは再エネや原子力によって容易に転換されない。また、カロリーベースで見たときの食料消費は価格弾力性があまり大きくなかったが、現実には先進国において食料は高付加価値商品化しており、食料生産自体が極めて不安定な市場環境に置かれている。前述のように肉食や養殖漁業のエネルギー依存性は高く、商品食物生産はエネルギー価格の影響を大きく受ける。先進国では産業構造として農業は衰退し、わずかに残った部分が高付加価値少量生産に向かわざるを得ない。漁業も同様である。一方で依然として、途上国の所得は国際商品である食料価格に及ばない。単純な量的関係ではなく、世界の今

後の食料生産は、生産者所得と食料価格により供給構造の技術的進歩にも支配されると見なければならない。今までの食料増産の大きな部分を支えた多収量品種の投入が今後も続く保証はない。一方では依然として低収入地域での飢餓の問題は存在している。エネルギーも同様であるが、食料も国際商品であり、100倍以上の開きのある GDP per Capita を持つ国々の間で同じ価格で取引がなされなければならない。必然的に、低所得国では商品ではないエネルギーを用いて、商品ではない食料を生産し、それによって生きるという世界的には二重の構造をもつことになる。そして、貨幣経済や国際市場に拠らず、またそのような計量可能な統計の十分でない農業生産や森林経営が持続可能である保証はない。さらには、非食料の光合成経済としての BECCS (Bio-Energy with Carbon Capture and Storage) や排出権市場の動向が今後重要性を増すと考えられる。

### 3. 食料生産サプライチェーン

第1章最後の価値創造でも見ているが、エネルギーと同じく食料も、基本的にはモノとしての価値が高いわけではない。ほとんどの場合においては生産された農産物のサプライチェーン、更に考察範囲を拡大して考えれば、農業そのものが太陽エネルギーを変換してヒトの代謝可能なエネルギー媒体となる食料として届けるためのシステムであって、この運営のためのコストが価格のほぼすべてを占める。ヒトは、太陽にも地面にも植物にもお金を払っているわけではない。実際のところ、先進国においてさえ、多くの局面で「商品以外の」食料が食べられていて、本当に食料供給が生死や人口の動向にかかわるような地域の多くでも、食料の供給は商取引によっていない。食料もまた他のエネルギーサービスと似て、限界費用が低く、社会システムが構成員に供給するために機能するサプライチェーンの produk とみることができる。

食料システムの本質はエネルギーサプライチェーンであり、大量を、切れ目なく、すべての消費者に分配するインフラにその重心がある。このため本質的に従量制が低く、価格弾力性も小さく、限界費用も低い。途上国（場合によっては先進国でも）の農業コミュニティは基本的には閉じたサプライチェーンを持っていて、その構成員は外部市場におけるのと同じ価格で食品をやり取りしているわけ

はない。このため、穀物価格が国際市場において所得よりはるかに高くとも生きていくことができており、政治的に失敗していない多くの途上国において、実際に自営農民は十分な食料を得ることができる。また飢餓の問題の多くは、政治や制度による食料サプライチェーンの機能不全である。貧困が問題ではあるのだが、少々収入が好転してもサブサハラなどの国民が国際価格の食料を買えるわけではなく、途上国の食料問題には食料生産と供給のできる健全なシステムを構築すること、そのための社会的制約（戦乱、制度的収奪、社会資本の不足等）の除去が必要である。

ローカルなシステムの他方では、国際市場における食料のサプライチェーンは、必ずしも地産地消の方が有利になるようにはできていない。近現代の輸送技術、貯蔵技術の進歩が、やはり輸送コストの従量依存を極めて小さくしているためである（距離においても量においても）。例えば我が国においても、生鮮食品であるはずの野菜が、国産よりもオーストラリアや南米からの輸入品の方が安価である様なことも起こる。基盤的な食品（穀類など）について、すでに食料の限界費用はかなり低くなっていて、むしろサプライチェーンの構築、運営のコストが大きな割合を占めている。この結果、国際価格での取引が行われる世界の大部分の地域において、食料は最も生産性の高い地域から需要地に（価格の破壊的下落が起こらない範囲で）輸送可能になっていて、食料生産はすでに世界需要の大部分については需要に追随して調整される状況になっている。一方では、このように遠方であっても比較的低コストで品質を保持したまま大量に輸送したり、時間的に保存して収穫期に拠らず出荷が可能となったために、たとえ消費地に近くとも規模や生産コスト、特に人件費や気候の点で競争力を失うケースが発生している。これはエネルギー、特に石炭産業で先進国で起きた現象と類似している。農業は食料生産とともに広範な生態系にも影響を与えつつ管理する性格があるため、国土保全や農村コミュニティは伝統的な社会形成そのものに大きなインパクトを与える結果となる。

人類文明自体が、生活に必要な物質エネルギーのサプライチェーンをかなり広範な地域にまたがって効率的に構成することが技術的に可能になっている。このため、人類の生活に必要な物資のほとんどすべてについての供給システムで、限界費用が極

めて低い。途上国でも先進国でも、最初に供給システムが形成されるのは食料（と水）であり、そうでなければ社会が成立できない。その生活圏システムにおいては食料やエネルギー、水は生活に必要な量が物理的に入手可能になっていて、その範囲の内では価格的にも構成員の大部分が手に入れられるシステムが構築されている。このようなメカニズムは人類においては個体の移動・移住によっても起こるので、人類の人口の著しい増加は途上国の都市において起こっている。コミュニティとしては農村では

その経済規模で自給できる範囲の人口しか養えない一方、都市はより生産性が高く、商品としての食料がその地域において入手できる。一方では社会構造そのものが食料供給システムの変化とともに大きく変わりつつあるのも、サプライチェーンが人類の生活そのものと密着しているためである。今日の人類の多くが依拠している大都市での食料供給はロジスティックスとサービスの産業であり、コストの多くが原材料でなくそのシステムと運営にかかっている。

## 4. 持続可能な水供給

小西 哲之

### 1. 物質サプライチェーンの典型

水資源問題は、一見消費性資源物質サプライチェーンでありながら、エネルギーと同じように実は通過型循環性であることの代表例である。水資源はもちろん有限ではあるが、それは非圧縮性であり、環境中を循環している。水資源の「枯渇」は量として不足するのではなく、供給速度が消費速度に追いつかないというサプライチェーンの問題である。もとより水は降水が河川を流れて海に流入する過程をバイパスして人類は使っている。降水が地下水となつたものをくみ上げる例もあるが同様であり、基本的には再生可能資源の典型であり、それを適正に人類の生活圏で必要量を必要な時と場所に供給するシステムさえ構築されれば、多くの場合、限界費用ゼロに近い形で需要者に供給されている。一旦システムを構築すれば水はそこを通過するので、使っても使わなくてもかかるコストは追加的な使用量によらないためである。

地球表面のほとんどにおいて物質としての水は極めて豊富であるが、その大部分は海洋の塩水であり、人類の使用に適した水質の水資源は多くはなく、表層の一部の淡水である。さらにその供給のためにはエネルギーと技術の投入による付加価値(価値創出)が伴っていて(精製、分離、移送、分配など)、それがすべてというべきサプライチェーンである。原水自体は太陽光や風力等と同様に、無料でかつ無尽蔵であるが、供給量には自然環境による時定数と限界がある。地下水の供給時定数は数日から数万年と、大きな差異があり、供給速度を超えた使用により枯渇する点はバイオマス(特に木質)と同様の限界がある。我が国は世界では例外的に水道水の水質が飲料水レベルであるが、飲用水の必要量は一人一日2リットル、生活水として100リットル～1000リットルである。より大きな水需要は農業用水と工業用水であり、これが水資源の大きな部分を使うが、そのために必要な水質は飲用とは異なる。農業用水は灌漑に使用されるが、河川水地下水レベルであれば特段の処理は不要で移動コストのみであり、上記の理由で価格が極めて安くかつ定額の場合が世界的に多い。このため節約インセンティブは働きにくいが、これもインフラ依存のサプライチェ

ーンに特徴的な限界費用ゼロシステムの例である。ドリップイリゲーションにより大幅な節約が可能であり、現に一部中東や先進国では利用されている。

水は大量に必要とされ、水路による以外に輸送が困難であるため、水のあるところにその供給力の範囲内でしか人類はもともと住んでおらず、そこで生活圏を構成している。農業用水が人類の水需要の多くの部分を占めるという事実は、水が食料生産に必要である場合、食料のみが輸入できれば、(農業用)水供給ができない地域にも人類が居住可能であるという生活圏の構成が行われたことの理由である。この結果水のサプライチェーンは、食料を考慮する場合「バーチャルウォーター」という概念を含めて考えられる。これにより極めて遠距離の水資源豊かな地域から、都市等人口稠密地帯への食料供給を成立させている。バーチャルウォーターは、水を大量長距離に輸送、使用しなくても人類全体でより大量的の水を消費することも可能としており、水の使用量は、サプライチェーンの物理的制約を超えて大きくなつた。

水資源利用の数十%を占める工業用水は洗浄や冷却に主に使用され、使ってなくなるだけでなく、価値が下がるだけであって、これらは再生可能である。生活用水も、使用後ほぼ同量が下水から河川等に流入し、下流においてまた使用することがある。この点は最終的に土壤に吸収あるいは蒸発で失われる農業用水と異なる。ある意味では「後処理」を考えなくてよい工業用水と異なり、これらの水サプライチェーンは排水処理は大きな比重を占めるが、この問題は次項で考察する。自然環境による浄化を含め、コスト的労力的に可能であり必要であれば、このように下水を含む河川水は循環使用可能である。

農業用水も結局は蒸発あるいは地下水経由で降水に戻っているのであり、人類の水使用は、地球表層近傍での循環量をバイパスして使っていることに変わりはない。究極には1章で述べたバイオスフィアと同様であり、閉じた水循環系において必要な水資源が、必要な水質に若干のエネルギー投与によって価値付与ができる範囲において、水資源は持続

可能である。逆に言えば、サプライチェーンが正常に運転維持され、かつ水質における分離作業というエントロピー減少を可能とするだけのエネルギー供給がなされなければ、水資源は枯渇する。

サプライチェーンの物理的制約と水消費量の乖離によって起こる供給不足は、必要な水が必要な人や場所に届かないという意味では、「再生可能」資源に典型的に起こる「枯渇」問題を誘発することがある。すべての水資源は、再生可能であっても上流からの供給量に左右される有限な資源であり、供給速度の観点で見れば枯渇性であって、その限界内では無尽蔵に見え、それを超えると再生されない。上流と言っても、蒸発と雲における凝縮と降水、あるいは地下におけるろ過過程を経て得られるということは、それぞれに太陽エネルギーや重力エネルギーによる循環速度の制約があるということである。

地下水はその供給量内では無尽蔵であるが汲み過ぎると枯渇するのはこのためである。生成時定数は短いもので数日というものがある一方、長いものは例えば富士山伏流水で数百年～大陸にみられる大規模な地下水は数十万年の時定数で、くみ上げすぎれば再生が追い付かない。都市化により地表をアスファルトで覆ってしまったり、山地の樹木を伐採して河川への流出を早くすれば、有効な利用可能水資源は減少する。

自然エネルギーでの循環に限界がある場合、人為的なエネルギー投入でサプライチェーンを構成できる点は、水も農産物も同じことである。現在でも中東産油国（クウェート、リビア、サウジ、UAE）では海水淡水化で水をつくっている。水蒸留および逆浸透膜法が主要な技術であり、技術的には容易に製造できるがエネルギー消費は河川水等の加工よりかなり多い。しかしこれも、水資源において実質サプライチェーンを制約するものが水供給ではなくエネルギー供給である証左である。この原価が現在のエネルギー価格において 1 キロリットル当たり 100 円以下であるため、これが世界レベルでの水資源価格の上限をバックストップ効果で決定しているといえる。海水脱塩に必要なエネルギー量は、水の需要に対応して莫大であるが、そのエネルギーの質は高くなくても構わない。そのため、原子力の発電に伴う排熱レベルの低温熱、あるいはグリッドに投入して安定性と電圧周波数を厳しく管理しなくともよい、低品質の直接の太陽光や風車動力でも利用可能である。つまり、今後のエネルギーシステ

ムの低炭素化、特に発展途上国の急激なエネルギー開発に伴ってコジェネレーション（熱電併給）等で導入が可能であり、水へのアクセスはエネルギーと技術によって比較的容易に解決できる問題と言える。

## 2. サービス媒体としての水供給

農業（灌漑）においては主として水は地表において開放系で使用し、河川や地下水の経路を変更して結局大部分が蒸発して失われ、降水に循環する。この点は、自然エネルギーと極めてよく似たサプライチェーンを持っている。ダムや流入式の水力発電はそもそも水利用と発電の混在したシステムとなっている。これは自然界での水循環にあまり大きく介入していないように見えるが、環境影響は水の持つ媒体としての性格による影響は無視できないことがあり、必ずしも持続可能でないことがある。生活用水や工業用水は、主として閉鎖系で分配され、その用途はもっぱら物質や熱の輸送媒体である。これらのプロセスでも、大量に使っているようでいて、水そのものを消費しているわけではなく、ルートを変えて通過させるだけで、下水、工業排水として河川や海に大部分が流されるが、ここでも環境の持続可能性は問題となる。

ダムや農業による水の河川からの収奪は、当然大量であれば流域の水を収奪するわけであるから植生に影響を与えるし、土砂の海岸への到達を阻害するために、我が国では大幅な砂浜の減少がすでに観測されている。ダム自身も土砂の堆積があるため浚渫を必要とし、必ずしも持続可能ではない。一方灌漑では地中からの塩類の吸い上げ効果があり、よく知られたメソポタミア文明の滅亡の原因となった。

前述のように生活用水、工業用水では水は物質や熱を運ぶ媒体として使われる。鉱業における選別や洗浄も、有用物質、不要物質を分離し、あるいは汚染物質を移送していく、水そのものは減らず、汚染物質を溶存懸濁して下水や河川に運び去っている。鉱業プロセス上製品ラインから除去しなければならない物質は水により洗浄などで運び出され、排出される。これが環境放出された場合、十分に濃度が低く、速やかに海洋等に排出されれば、拡散、自然界における他生物や化学プロセスによる分解により無害化される。これが環境の浄化プロセスの処理スループットを上回る場合は、廃液の技術による処理を行わなければ、全体の水サプライチェーンは破

たんする。水の問題は、供給の問題だけでなく、閉じた循環系におけるスループットの確保の問題であるため、下水排水の処理や環境汚染の方が重要であることも多く、上記の自然エネルギーによる循環システムの限界を超えて使用したければ、人為的なエネルギー投入によるスループットの増加とエントロピー排出のためのシステムを構築し、運転しなければならない。これは供給側だけでなく廃液処理側にも当てはまることがある。実際排水処理により経費と社会的な努力、システム構築と運転のコストが大きいことがありうる。特に排水とともに広範囲に汚染物を拡散してしまったような場合は、その回復には大変な労力とコストがかかる。一方、有害物質も海洋中で希釈し、拡散すれば、人類の生存時定数から見ても十分長い期間、生活圏から隔離することも可能である。

火力原子力発電プラントでは、熱の排出そのもの

が熱機関を構成する主要な機能であり、環境への排熱が影響を与える。例えば、原水より7度以上温度の高い排水は日本では許可されないが、余分に温度の高い排水は、蒸発や周辺環境への放熱によりこの余分なエントロピーを希釈放出している。

つまり水利用は、その過程で大量のエントロピーを排出するのが主な機能である。逆に浄水や飲料水の製造は水の純化でありエントロピーをそこから抜き出す作業で、エネルギーを消費する。水自体が消耗性なのではなく、エネルギー利用によるエントロピー排出の一形態とみることもできる。環境中の水循環は重力エネルギーによる流動や地中でのろ過、海洋での拡散、蒸発と高空での凝縮、という一連の過程で、自然エネルギーによる循環とエントロピー排出、水自体のエントロピー減少、という1章図1～図3に類似の持続可能なシステム構造を持っている。



## 第3章 気候変動の緩和とそれへの適応

### 1. パリ協定は機能するのか：その評価と課題

パリ協定は、今世紀後半の「ゼロ・エミッション」をめざす長期目標に合意し、5年ごとに各国が目標を見直して、長期目標に向けて目標を引き上げていくメカニズムに合意した。パリ協定が効果的に機能するには、この目標引き上げメカニズムをはじめとするパリ協定の下での国際制度が効果的に運営されるような国際ルールの構築が必要である。各国での脱炭素化に向けた対策の進展が鍵を握る。再エネのコスト低下により、途上国にとっても、経済発展に伴うエネルギー需要の拡大に応えつつ脱炭素に向かう経済合理的な選択肢が見えてきた。その結果、国際的な温暖化対策の強化に消極的な態度を示してきた途上国の立場が変化しつつある。パリ協定は、国家だけでなく、特にビジネス・金融・投資家の行動に変化を及ぼし、それがパリ協定への支持とその実効性を高めている。

### 2. 持続可能性の意味を問い合わせる

環境問題は、人間の活動がもたらす廃棄物が、自然環境が受け入れられる限度を超えたときに生じ、また、本来再生可能な範囲で使用すべき再生可能資源をその限度を超えて使用したときに生じる。また、強い持続可能性の考え方では、自然資本は他の人工資本等では代替できないものとの認識がある。人類は、これまで多くの人工資本を生み出してきた一方で、地球の生命を支えてきた自然資本の劣化を招いてきた。そのことを謙虚に受け止め、私たちは、あえて「強い持続可能性」をベースに今後の持続可能性について考えていくべきである。

### 3. 持続可能な都市と交通

人間活動の大半が行われる都市域では、その空間構造が活動の態様を規定する。特に交通は、多くのエネルギー消費と環境負荷発生をもたらし、都市空間構造との相互連関も強いことから、交通網や輸送手段の計画・運営は都市の持続可能性を左右する。IT化に伴って物流が相対的に重要となる中、都市域のコンパクト化を基調とするロジスティクスの効率化と、人の移動の付加価値向上、そして低炭素化が求められる。

## 1. パリ協定は機能するのか：その評価と課題

高村 ゆかり

### 1. パリ協定の採択

2015年12月12日、気候変動枠組条約締約国会議（COP21）は、パリ協定（Paris Agreement）とその実施に関するCOP決定を採択した。パリ協定は、地球温暖化（気候変動）問題に対処するために合意された、京都議定書採択以来18年ぶりの国際条約である。

国際社会は、これまで、1992年の気候変動枠組条約とそのもとで1997年の京都会議（COP3）で採択された京都議定書を基礎に、気候変動問題への国際的対処の枠組を構築してきた。しかし、新興国の経済発展とそれに伴う排出量の増加、米国の不参加などを理由に、先進国のみに排出削減の義務を課す京都議定書の実効性が問われることとなった。すべての国が国際的に削減を約束する国際枠組みの構築がめざされたが、2009年のコペンハーゲン会議（COP15）では合意ができないまま、2010年のカンクン会議（COP16）での政治合意（カンクン合意）に基づいて、先進国と主要な新興国をはじめとする国々が、2020年目標を提出し、実施している。しかし、各国が提出した2020年目標を積み上げても、国際社会が長期目標として合意した、工業化以前と比べて気温上昇を2°C未満に抑えるという2°C目標を達成できるほど排出を削減できない。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は、最新の第5次評価報告書（2014年）において、産業革命前に比べて気温上昇を2°C未満に抑えられる可能性の高いシナリオ（「2°Cシナリオ」）では、温室効果ガス排出量は2010年に比べて2100年にはほぼゼロまたはマイナスになるとした。こうした背景のもと、すべての国が削減を約束する国際条約の作成をめざして、2012年から始まった交渉の結果、COP21で合意されたのがパリ協定である。

果たして、パリ協定は、2°C目標、2100年ゼロ・エミッションというその長期目標の達成に効果的に機能するのか。

### 2. パリ協定で何が決まったのか

パリ協定は、29条からなる、京都議定書同様、法的拘束力のある国際条約である。パリ協定は、排出削減策と並んで、気候変動の悪影響への適応策、

資金、技術開発・移転、能力構築、行動と支援の透明性についても定める。紙幅の制約から、これまでの国際枠組みと比べてパリ協定の特質と考える次の3点に焦点を当てる。

#### 2-1. 今世紀後半の「脱炭素化」「ゼロ・エミッション」をめざす長期目標

パリ協定の合意事項の中で特に重要なのは、国際社会がめざす長期的な目標、ビジョンをより明確に定めたことである。協定は、気候変動の悪影響への懸念が世界的に高まる中で、気候変動の脅威への世界的な対応強化をめざすとし、そのために、世界の平均気温の上昇を工業化前と比して2°Cを十分に下回る（well below）水準に抑制し、1.5°C以内に抑えるよう努力する（2条）と定める。さらに、この目標達成のために、パリ協定は、できるだけ速やかに世界の排出量を頭打ちにし、その後、最良の科学的知見にしたがって、今世紀後半に温室効果ガスの人为的排出と人为的吸収を均衡させるように急速に削減することをめざす（4条1）と定め、今世紀後半に排出を実質ゼロ（ゼロ・エミッション）にする脱炭素化社会・経済のビジョンを示した。

英国の「The Guardian」誌が協定採択を「化石燃料時代の終焉」と評したように、パリ協定は、今世紀中、できるだけ早い「化石燃料依存からの脱却」という国際社会が実現をめざす共通の価値・ビジョンを示した。IPCC第5次評価報告書は、大都市部の洪水による被害、極端な気象現象によるインフラなどの機能停止など確信度の高い8つの主要な気候変動リスクを特定した上で、多くの主要なリスクは、対応能力が限られた後発開発途上国や影響を受けやすいコミュニティーにとって重要な課題であるとした。1.5°C目標はもちろん2°C目標は決して容易な目標ではないが、ほとんど排出に寄与していないにもかかわらず、最も影響を受けやすい国々や人々が直面する気候変動リスクを考慮して、これだけの排出削減を行うことを国際社会が選択し、達成をめざすことに合意したものである。

こうした長期目標は、今後日本を含む各国が目標を作成し、実施する際の指針となるとともに、脱炭素化に向けた変革の重要な手である事業者や市民に対して、今後の社会とビジネスの方向性を示

すものもある。シンクタンク Carbon Tracker とロンドン大学 (LSE) グランサム研究所の報告書「燃やせない炭素 2013 (Unburnable Carbon 2013)」は、政府保有資産を除き、民間企業がすでに開発に投資している化石燃料資産をすべて燃やすだけで、気温上昇を 2°C はもちろん、3°C に抑制できる炭素の排出量を優に超えて排出することになり、化石燃料事業への投資が投資回収できないリスクをはらむと指摘し、投資回収できない資産を「座礁資産 (stranded assets)」と呼ぶ。このように、2°C 目標といった長期目標は、将来の化石燃料事業への投資リスクを明らかにする。

## 2-2. 長期目標をめざし、5 年ごとに各国が目標を引き上げていく持続的な枠組み

京都議定書は、数値目標の「達成」を先進国に義務づけるが、パリ協定は、達成をめざす削減目標 (nationally determined contribution; NDC) の作成・提出・保持、そして、目標達成のための国内措置の実施をすべての国に義務づける (4 条 2)。各国は、長期目標に向けた全体の進捗評価 (global stocktake) (14 条) の結果を指針に、5 年ごとに目標を提出する義務がある (4 条 9)。自ら作成するからといって、その目標は何でもよいわけではなく、その国の現在の目標を上回るもので、その国が最大限可能な目標でなければならない (4 条 3)。5 年ごとに目標を提出し続けることを定めるパリ協定は、当面の目標を達成して終わりではなく、長期目標の実現まで続く持続的な枠組みとなることが想定されている。

京都議定書の場合、目標の水準は国家間の交渉によって決定し、議定書に規定され、その議定書を締結し、実施する（「トップダウンアプローチ」とも呼ばれる）。他方、パリ協定は、達成すべき目標の水準は、国が自ら決定し、その目標がパリ協定の下での国際的な目標となる（「ボトムアップアプローチ」とも呼ばれる）。パリ協定は、提出する目標に一定の条件を付す（場合によっては今後の実施規則の交渉において追加的な条件が加わる可能性もある）

る）中で、各国が目標を自身で作成するため、「ハイブリッドアプローチ」とでも呼ぶのがより適切かもしれない。

パリ協定が目標の「達成」を義務づけていないのは、中印などが消極的だったのに加えて、上院の助言と同意を必要としない国際協定としてパリ協定を締結したい米国も消極的であったからである。ただし、パリ協定のこの規定ぶりについて「各国の削減に法的義務がない」といった説明は誤っている。5 年ごとに目標を作成して提出しない国はパリ協定の定める義務に違反することになる。また、目標達成のための国内措置を誠実に実施しないならば、パリ協定の定める義務に違反しているとみなされる。各国は、削減目標の達成に向けた対策の進捗を 2 年に一度報告し、国際的な審査を受ける (13 条) が、パリ協定は、協定の義務の遵守が問題となる事案について実施・遵守促進のメカニズムを設置する (15 条)。これらの詳細ルールは、2018 年の COP24 で採択予定である。

COP21 に向けて、主要排出国を含む国際社会のほとんどの国が 2020 年以降の目標を提出した。しかし、国際エネルギー機関 (IEA) などは、これらの目標が完全に実施されると現状よりも気温上昇を抑制するものの、2100 年までに気温は 2°C を優に超えて上昇すると推計する。そのため、パリ協定は、全体の進捗の評価をふまえて、各国が目標を 5 年ごとに見直して、引き上げることで、2°C 目標に近づいていく仕組みを定めた (図 12)。さらに、パリ協定の本格的始動前の 2018 年にも「促進的対話」を行い、各国が現在提出している目標の見直しを行って、2020 年までにあらためて目標を提出することも COP21 の決定で要請されている。日本が提出した 2030 年目標 (2013 年比 26% 削減 = 2005 年比 25.4% 削減) も、2020 年までに、目標の引き上げができるないか、見直しをすることになる。また、パリ協定は、2050 年をめどにした排出削減の中長期戦略を作成するよう努める責務を定める (4 条 19)。この戦略は 2020 年までに提出することが COP21 の決定で要請されている。

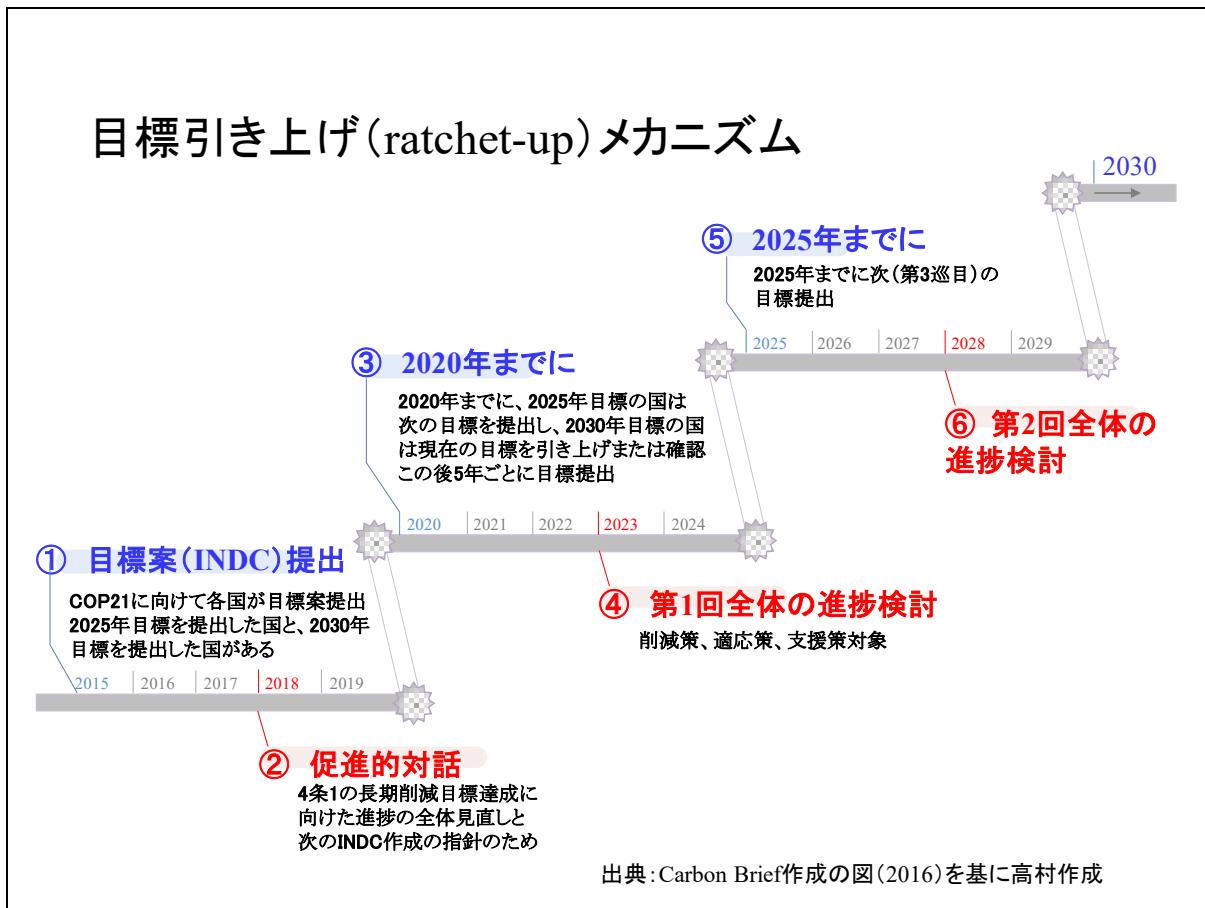


図12 目標引き上げ (ratchet-up) メカニズム

### 2-3. 一つの枠組みを指向しつつ、現実をふまえたきめ細やかな義務の差異化

気候変動枠組条約と京都議定書は、共通に有しているが差異のある責任(Common But Differentiated Responsibilities; CBDR)原則(3条1)に基づいて、先進国の国名を附属書に記載(リストティング)することで、先進国(附属書I国)グループとそれ以外の国(非附属書I国)のグループに分けて、基本的に前者の法的義務を課している。こうした先進国と途上国に二分化した制度は、特に2000年代以降、中国、インドといった新興国の経済発展と一緒に伴う排出増からその妥当性が問われるようになった。先進国は、こうした二分論に基づく差異化を解消し、一つの枠組みの構築を主張したのに対し、途上国の中でも先進国の歴史的排出の責任を問う国々は、先進国と途上国を二分した従来の差異化を堅持することを主張した。

パリ協定は、将来的に一つの枠組みを指向しつつ、排出削減策、適応策といった問題の性質に応じて、現実を踏まえた実に絶妙できめ細やかな義務の差

異化を行う。

例えば、排出削減については、前述のように、削減目標を作成・提出し、達成に向けて国内措置を実施することをすべての国のが通の法的義務とする。その上で、パリ協定は、京都議定書型の国別絶対排出量目標を約束することで先導する先進国の政治的責務と引き続き削減努力を継続する途上国の政治的責務を規定し、先進国と途上国の責務に差を設けつつ、途上国も時間とともに先進国の目標のような国全体の排出削減・抑制目標へ向かうことを奨励する「同心円的差異化 (concentric differentiation)」の考え方を導入する(4条4)。適応策については、適応計画プロセスと適応行動の実施に取り組むことをすべての国のが通の義務とする(7条9)。しかし、「適切な場合には(as appropriate)」と定め、その義務の履行については国に大きな裁量を与えていた。

透明性の枠組み、すなわち対策の進捗の報告と審査の枠組みでは、先進国、途上国を問わず共通した1つの枠組みを設置しつつ、能力に応じて途上国に

その実施に柔軟性を与えていた。情報提出義務については、前述の排出削減策、適応策、資金支援策ごとの実体的義務の差異化に応じて差異化する。排出量や吸収量の情報と削減目標の進捗のフォローアップに必要な情報の提出義務はすべての国の共通の義務である。適応に関する情報は、実体的義務が国に大きな裁量を与えていたことから、適切な場合に提出する責務（13条8）にとどまる。支援に関する情報は、支援が法的義務である先進国には情報提出義務が課せられるが、支援が法的義務ではないその他の国は情報を提出する責務にとどまる。他方、提出された情報の検討については、専門家による検討と、進捗に関する多数国間の検討に参加することがすべての国の義務となっている。

### 3. パリ協定をどう見るか：その評価と課題

#### 3-1. パリ協定は実効的か

果たして、パリ協定は気候変動への対処にどこまで実効的なものだろうか。

パリ協定は、先進国、途上国の区別なく、すべての国が、削減目標を提出し、その目標達成のための対策の実施を国際的に約束する枠組みを定め、従来のレジームからのレジームシフトを実現した。各国が目標を作成し、提出する方法をとることで、COP21に先駆けて国際社会のほぼすべての国が目標を提出したように、パリ協定は、国際的に削減目標を持つ国々の範囲を拡大し、参加の普遍性を高めることで、制度の実効性が高まることが期待される。

他方、各国が目標を設定する仕組みは自動的には問題解決を保証しない。各国が提出した目標を積み重ねてもパリ協定が定める長期目標を達成に必要な削減水準にならない。また、各国が目標を作成する=削減水準を決定するという方式は、国が誠実に目標設定を行わず、恣意的に行うならば、パリ協定の制度の公正さを損ない、フリーライダーへの懸念から各国が削減水準を引き下げたり、各国の制度への参加を損ない、結果として実効性を損ねてしまうおそれもある。

パリ協定が真に実効的なものとなるかは、何をおいても各国が提出した目標を実施し、脱炭素化に向けて着実に歩みを進めることができるかによる。そのためには、各国の目標の実施を確保し、5年サイクルで目標の引き上げを可能にするよう国際ルールの構築が鍵を握る。同時に、各国における脱炭素化の歩みを支える国際ルール、中でも、①「全体の進捗評価→各国目標作成・提出→全体の進捗評価」という5年サイクルのプロセスに関するルール、②各国の国内措置の実施の進捗を透明にし、促進する透明性の枠組みに関するルール、③実施・遵守促進のメカニズムのルールが重要である。これらのルールは、2018年開催のCOP24で採択することが予定されており、今後ルールづくりの交渉が本格化する。

#### 3-2. 京都議定書の評価

京都議定書をいかに評価するのかはパリ協定を評価するに当たっての論点の一つである。京都議定書、2020年までのルールを定めたカン昆合意とパリ協定を比較した表2からこの間の制度の変化を見てとれる。

表1 京都議定書とパリ協定の比較

京都議定書・カンケン合意・パリ協定			
	京都議定書第一約束期間 (2008-12年)	カンケン合意に基づく国際 枠組み(2020年まで)	パリ協定(2020年以降)
目標の法的性質	・先進国が目標を達成する義務(結果の義務)。途上国には義務はない	・先進国は目標の履行を政治的に約束。途上国は自主的に削減行動	・すべての国が目標を5年ごとに作成、提出する義務。達成に向けて国内措置を実施する義務
目標設定の方法	・各国の数値目標の水準は、国家間の交渉で決定	・各国の目標の水準、内容は各国が設定(自主的差異化)。国際的に情報を提出し、説明	・各国の目標の水準・内容は各国が設定(自主的差異化+同心円的差異化)。国際的に情報を提出し、説明する義務
目標達成手段(アクションティング)のルール	・京都メカニズム、森林等吸收源などのルールを国際的に明確に定める	・目標達成手段のルールはなお曖昧さを残す	・目標達成手段のルールを国際的に定める。詳細はこれからの交渉による
報告・審査、遵守評価のアプローチ	・先進国は、毎年排出量を報告、審査を受ける。約束期間終了後、国が保有する排出枠の量と比べて目標の達成を評価する	・毎年排出量を報告、審査を受ける。加えて、2年に一度、目標達成に向けた施策、その効果などを報告し、国際的審査を受ける。先進国と途上国と手続を区分	・すべての国が1つの透明性の枠組み。途上国には能力に応じて実施に柔軟性。カンケン合意の枠組みを基にしつつ、詳細はこれからの交渉による
不遵守に対する措置	・遵守手続の下で定められた、次期約束期間での未達分の達成などの措置をかされる	・不遵守に対する措置は今の時点では予定されていない	・実施・遵守促進のメカニズムの詳細はこれからの交渉による

京都議定書の交渉と実施を通じて、温室効果ガスの排出抑制・削減という社会的な規範意識が醸成され、先進国の温暖化対策も京都議定書採択前よりも格段に進んだ。市場を用いた京都メカニズム、先進国の拠出に依拠しない適応基金など、従来になかった革新的な制度も生み出した。忘れてはならないのは、京都議定書のこうした制度の構成要素の多くはパリ協定にも引き継がれていることだ。先進国は引き続き京都型の削減目標を持ち、途上国もまた時間とともにこうした目標に移行していく同心円的差異化の考え方が導入された。パリ協定の下に、市場メカニズムも設置されることとなった。

京都議定書の問題点として先進国のみに削減目標を課したことが指摘される。気候変動枠組条約が採択された1992年当時、人口で20%ほどを占める先進国が世界の70%以上の温室効果ガスを排出しており、先進国がまずは削減義務を果たす仕組みは理にかなっていた。しかし、結果的に、京都議定書が採用した附属書に国名を記す方法(リストティング)は、ある特定の時点の国情を基に国の分類を固定化するもので、中印をはじめとする新興国の排出量の

増加という状況の急激な変化に議定書は対応できなかった。

パリ協定は、附属書に国名を記す形のリストティングはやめ、先進国と途上国という区分はなお採用する規定でも、国がどちらの区分に属するかを明記していない。状況の変化に対応する柔軟性を内在する制度ということができる。他方で、自国がどの区分に属するか自ら決める方式といってもよいが、国が恣意的にそれを行うならば、パリ協定の制度の公正さを損なうおそれもある。

### 3-3. パリ協定の早期発効

パリ協定は、2016年11月4日発効した。採択から1年足らずでの発効は、環境条約を含め多数国間の条約としては実に異例の速さである。2017年4月7日時点で、日本を含め世界の温室効果ガス排出量の80%超に相当する142カ国とEUが批准した。2016年内の発効がめざされたのは、米国の大統領選挙の結果、政権がパリ協定から脱退しようとしても、すぐには脱退できないようにするためでもあった(後述)。異例の速度での各国の批准は、これか

らの気候変動対策の要としてのパリ協定を米国の国内政治に左右されることなく確実なものとしているという諸国との強い意志とパリ協定への期待を表すものもある。実際、米国の政権交代後もパリ協定の締結は進んでいる。

京都議定書は、先進各国の削減目標を定めたが、採択後すぐには国内実施のプロセスは開始しなかった。実際に、締結と実施のための国内のプロセスが始まるのは、京都議定書の実施規則が合意された2001年 COP7 以降であった。実施規則の中には、ルール次第では各国の目標の水準を変えてしまう可能性のあるものが含まれていると各国は認識していたからである。例えば、国内の森林等吸収源からの吸収量について、京都議定書3条3、3条4が定めを置くが、これがどの程度認められるかによって COP3 で合意された目標の水準が異なりうる。実際、森林等吸収源のルールに関する交渉は、「目標の再交渉」の様相を呈していた。京都議定書は、採択後詳細な実施規則を COP の交渉に委ねるという「枠組み議定書」とでも呼びうる議定書にすることで COP3 での合意を可能にしたが、他方、目標の水準に実質的に影響を与える実施規則の交渉を残したゆえに、京都議定書の国内実施は、実施規則の合意まで後ろ倒しになり、その結果採択から締結・発効まで 7 年余がかかるということになった。

他方、パリ協定の場合、協定採択前に各國が自身で目標を検討し提出する方法をとることによって、国内実施のプロセスが早期に始まった。日本は、条約締結時の完全担保主義をとることもあってか、各省庁が計画する施策・措置を集めて達成の見通しをある程度持った 2030 年目標を作成し提出した。その結果、すでにパリ協定が合意される前に、目標の実施のための計画の下地はつくられていた。それゆえ、パリ協定採択後の温暖化対策計画の審議はそれを前提にした上で、パリ協定が定める長期目標を受けて、日本の長期目標の設定をどうするかなど限られた論点の議論にとどまった。

このように国際交渉での目標の決定、実施規則の決定の前から、実質的に国内実施プロセスが始まり、京都議定書よりも早い締結と早い国内実施の開始が可能となった。なお、これから交渉を経て決定する排出削減策に関する実施規則は、2回目以降の目標に適用すると定め、今回 COP21 に向けて各國が提出した目標への適用は任意とすると決定することで、実施規則の合意の前にパリ協定を締結し、国内

実施の開始を早めることを可能としている。

#### 4. なぜパリ協定は合意できたのか 一ゲームのルールを変える世界的な「エネルギー大転換」—

新興国の経済発展と政治的台頭により、途上国の利害が多様化し、その結果、交渉のプレーヤーが増加し、交渉を複雑化させている。こうした変化は既存のルールの変更圧力も生む。こうした国際社会の変動期には、温暖化交渉に限らず多数国間で合意を得ることは容易ではない。2009 年のコペンハーゲン会議での決裂から 6 年、なぜ COP21 ではパリ協定に合意できたのだろうか。

まず、2016 年は米国の大統領選挙の年であり、2017 年以降の新政権の先行きが不透明なこともあります、COP21 を逃すと合意はさらに遅れ、2℃目標の達成はより難しくなり、気候変動の悪影響のリスクが高まるとの危機感が共有されていた。第 2 の理由は、米国・オバマ政権によるパリで合意に至るための周到な「作り込み」である。COP21 に先立ち 2、3 年前から、政権の「遺産（legacy）」と位置づけ、最優先課題としてあらゆる外交チャネルを用い、各國の目標提出を促し、パリ協定の中心的要素について事前に主要排出国首脳レベルの同意をとりつけた。第 3 に、議長国フランスによる采配である。パリ協定は、多数国間の協力が必要な地球的課題に国際社会が協調しうる「外交の力」を示し、多数国間主義（マルチラテラリズム）への信頼回復に貢献した。

パリ協定を成立させたもう 1 つの重要な背景は、「エネルギー大転換（Energy transition）」ともいえる世界的な動きだ。欧米とともに 2030~40 年には石炭火力を大きく減らし、ガスへの転換と再エネ拡大に政策のかじを切る。EU は、1990 年比少なくとも 40% 削減という 2030 年目標の前提として、最終エネルギー消費の少なくとも 27%、総発電量の少なくとも 45% を再エネにすることをめざす。米国のエネルギー政策は州主導だが、約 30 の州が再エネ目標を設定する。例えば、2030 年に、カリフォルニア州は総小売電力量の 50%、ニューヨーク州は総発電量の 50%、ハワイ州は総小売電力量の 50% を再エネにする。

中国も 1 次エネルギー消費の非化石燃料比率を現状の約 10% から約 20% にすること、インドも総電力設備容量の 40% を非化石燃料起源とすることを 2030 年目標とする。相当な速度と規模でエネル

ギ一部門の脱炭素化を進めるもので、その軸を担うのが再エネである。例えば、インドは2022年までに太陽光を現在の5倍の100GW、風力を20倍の60GW導入することをめざす。日本の温暖化目標（2013年比26%削減、2005年比25.4%削減）の基礎となっている2030年のエネルギー믹스において、2030年の再エネ目標は、総発電量の22-24%、最終エネルギー消費の13-14%である。

他方で、火力発電所への二酸化炭素排出規制が広がる。フランスは2023年、英国は2025年、カナダは2030年までに国内の石炭火力の廃止の方向を打ち出した。2017年4月5日、欧州の電力会社の連合体は、ポーランドとギリシャを除いて、2020年以降石炭火力発電所を新設しないという声明を発表した。中国は、2015年に電力の約70%を石炭火力が供給しているが、対策を進め、2011年比では約10%減少した。2014年、2000年代に入って初めて石炭の生産量、消費量が前年より減少し、2015年もさらに減少した。世界全体でも、2015年の石炭の消費量は2.3%減少し、ここ45年間で例のない大幅な減少である。

シェールガス、大気汚染問題など国の事情は様々だが、技術開発と大量導入による再エネのコストの低下がそれを後押しする共通の要因だ。例えば、国際再生可能エネルギー機関（IRENA）によると、2010年～2014年の5年間に世界の太陽光のコストは半分になり、火力発電のコストと競争的な水準になってきた。陸上風力発電コストはすでに2010年の段階で火力発電のコストと競争的になっている。これは、福島第一原子力発電所事故後、安全対策などで発電コストが上昇する原子力と対照的だ。英国のヒンクリー・ポイントC原発の発電コストは、1MWhあたり85-125ポンドと想定され、政府が卸電力市場価格より相当に高い92.50ポンドで35年間の価格保証を行う予定だ。2016年7月の英国会計検査院の報告書は、2025年には陸上風力と大規模太陽光のコストは50-75ポンドとそれを大きく下回るとする英國エネルギー省の予測を紹介している。

こうしたエネルギーの大転換のインパクトは、エネルギー部門からの排出傾向にすでに現れている。2013年以降、2014年、2015年、2016年の世界のエネルギー起源の二酸化炭素排出量は、約3%世界経済が成長したにもかかわらず横ばいである（経済成長と二酸化炭素排出量のデカップリング）。IEAによると、この40年間で排出量が増えなかつたのは、

石油ショック、ソ連崩壊、リーマンショックといった経済の停滞期に限られていた。その理由をエネルギー効率改善と再エネの拡大と分析する。例えば、2015年には、史上初めて再エネ発電設備容量が石炭発電の設備容量を超えた、新規の再エネ発電設備の容量が、新規の化石燃料と原子力発電の設備容量を超えた。予測する以上の速度での導入が拡大しており、2015年の再エネ投資額は史上最高を記録し、大規模水力を除く再エネへの投資額は、石炭とガスへの投資額の2倍以上になっている。

再エネ、特に大規模な送電網の建設を必要としない太陽光のコスト低下により、途上国にとどても、経済発展に伴うエネルギー需要の拡大という国内の要請に応えつつ脱炭素に向かう経済合理的な選択肢が見えてきた。その結果、温暖化対策が「安価な」エネルギーの使用を制約し、経済発展の「足かせ」になるという考え方から、国際的な温暖化対策の強化に消極的な態度を示してきた途上国の立場が転換しつつある。

パリ協定採択を契機に、途上国への支援も脱炭素化、再エネへの重点化を加速している。インド・モディ首相とフランス・オランダ大統領のイニシアティヴで、120カ国以上が参加したソーラー・ライアンスもその1例で、インドも拠出して、2030年までに太陽光の大規模導入に必要とされる1兆米ドルの投資の動員をめざす。温暖化をめぐる国家間のゲームは、排出削減の「負担」をいかに国家間で配分するかから、脱炭素社会に向けたエネルギー転換を協力していかに促進するかというゲームへと転換しつつある。

再エネのコスト低下は、化石燃料の需要を押し下げ、供給過剰と価格低下の一因となり、東南アジアや中東では化石燃料の消費が増え、二酸化炭素の排出を増やしている。再エネのコスト低下が自動的にエネルギー転換を実現するわけではない。重要なのは、脱炭素化に向かう明確な方向性とビジョンを示し、エネルギー転換を促す「政策」である。

## 5. パリ協定が加速するビジネスと金融の変化

COP21を契機に、世界の代表的な企業は、今世紀後半の脱炭素化に照準を当てた取り組みを始めている。日本でも、トヨタ自動車は、2015年10月、「トヨタ環境チャレンジ2050」を発表した。2050年にトヨタが世界で販売する新車の走行時CO<sub>2</sub>排出量（平均）を10年比で90%削減し、工場からのCO<sub>2</sub>

排出量をゼロにする。さらに、素材製造から廃棄までライフサイクル CO<sub>2</sub> ゼロをめざす。サプライチェーン全体のゼロ・エミッションをめざす取り組みはその取引先への波及効果も大きい。日産自動車も同様に、ゼロ・エミッションモビリティなど長期目標とロードマップを設定し、実行する。積水ハウスは、2020 年新築住宅の 80%を ZEH (Net Zero Energy House) にすることをめざす。

「再エネ 100%」(RE100) の取り組みも進行する。BMW グループは、自社発電、地域の再エネ調達により事業全体を 100% 再エネでまかなうことをめざす。GM も 2050 年 100% 再エネをめざす。Google は、再エネ 100% をめざして 2025 年までに再エネの調達を 3 倍にする。Microsoft は、2014 年以降再エネ 100% をすでに実現している。Philips、Nike、Nestle、Wal-Mart、Starbucks もこれらの取り組みに続く。福島県、カナダのバンクーバー、スウェーデンのマルメなど、再エネ 100% をめざす地方政府・地方自治体も広がる。

「座礁資産」に象徴される化石燃料関連リスクの情報開示の要請が世界的に高まる。金融安定理事会 (FSB) は、マイケル・ブルームバーグ氏を座長とする、企業の気候変動関連リスクの開示に関する特別作業部会を設置し、2016 年 12 月には、自主的な情報開示に関する原則と勧告を公表した。企業の化石燃料関連リスクの情報開示の流れは、2006 年に提唱された国連責任投資原則 (UNPRI) に代表される、投資家が環境、社会、ガバナンスの考慮を統合した投資 (ESG 投資) を行い、社会的に責任ある投資を促進する動きとも連結している。フランスは、2015 年制定のエネルギー転換法で、フランスに登録する機関投資家に、気候変動リスクをどう評価し、考慮したかを開示することを義務づけた。ここでの気候変動リスクは、気候変動の影響のリスクと、「座礁資産」となる投資リスクを含む化石燃料関連リスクである。

COP21 を契機に、化石燃料事業、特に石炭事業からの「ダイベストメント（投資撤収）」を求める動きも強まる。ノルウェー政府年金基金は、100 兆円を超える資産規模を有する世界有数の年金基金だが、事業の 30% 以上を石炭採掘・石炭火力に関わっている企業 122 社の株式（約 80 億米ドル）をす

べて売却すると決定し、2016 年 1 月 1 日から実施した。ダイベストメントは温暖化問題を軽視する投資家に抗議する社会運動として捉えられがちだが、機関投資家は、事業の投資回収リスクを考慮して投資判断し始めている。脱炭素化に向かうエネルギー・温暖化政策は、こうした世界的な変化の中でも日本企業が長期的にその企業価値を高めるためにもその必要性を増している。

## 文献

- 1) 高村ゆかり 「気候変動政策の国際枠組み—パリ協定の合意とパリ後の世界」、『季刊環境研究』、March/2016 No. 181, 2016 年、11-21 頁
- 2) 高村ゆかり 「パリ協定で何が決まったのか—パリ協定の評価とインパクト」、『法学教室』、2016 年 5 月号 (No. 428)、2016 年、44-51 頁
- 3) 高村ゆかり 「京都議定書とパリ協定—その国際制度と実施のための国内制度」、『論究ジュリスト』、Number 19 2016 Autumn、2016 年、59-65 頁
- 4) 高村ゆかり・島村健 「地球温暖化に関する国際条約の国内実施」、『論究ジュリスト』、2013 年秋号、2013 年、11-19 頁
- 5) 高村ゆかり 「パリ協定の早期発効は何を意味するか—再エネを軸に脱炭素社会に向かう世界」、『世界』2016 November, no. 888、2016 年、204-210 頁
- 6) Carbon Tracker and Graham Research Institute, LSE, *Unburnable Carbon 2013: Wasted capital and stranded assets*, 2013, Carbon Tracker and Graham Research Institute, LSE.
- 7) International Renewable Energy Agency (IRENA), *Renewable Power Generation Costs in 2014, 2015, IRENA*.
- 8) National Audit Office, *Nuclear power in the UK*, Report by the Comptroller and Auditor General, 2016.

## 2. 持続可能性の意味を問い合わせる

一方井 誠治

### 1. 環境と人間社会との関係

図13は、環境経済学の教科書などでよく用いられている環境と人間社会との関係についての一般的な模式図に、私が若干付け加えて作成したものである。この表のポイントの一つは、中央の「人間社会の営み＝経済」というところに、非再生可能資源と再生可能資源が入ってくるところにある。再生可能資源は、動植物など、人類誕生以来、人間が自然界から取得し使ってきたものであり、それが使われ、廃棄されたあとは、またその再生資源を作りいわば原料となっていくという循環の環を形成していた。一方で、現代は石油や石炭など、エネルギーや資源の面できわめて有用な物質が多く使われているが、これらのものは非再生可能資源であり、従来の生態系の循環の環の中には存在しないものであった。

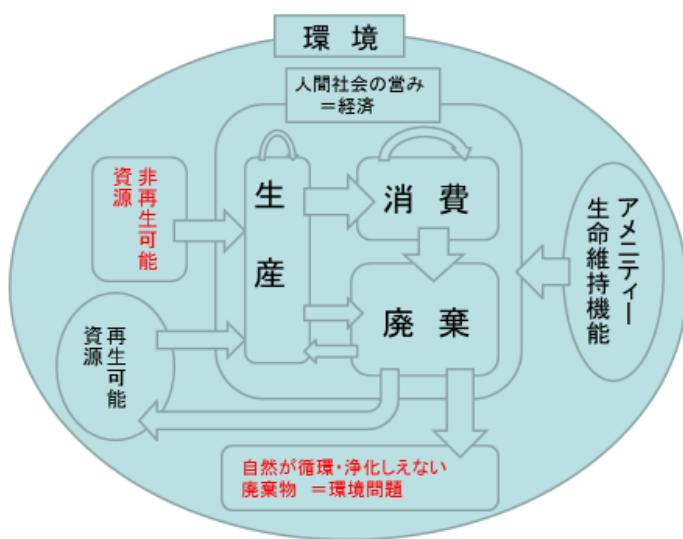


図13 環境問題をめぐる環境と人間社会との関係

そのため、これらの資源の使用から廃棄において、自然が循環・浄化しえない廃棄物が環境中に滞留することになった。これが環境問題である。その典型的な事例が化石燃料の大量消費により、二酸化炭素が、大気中にいわば廃棄され、それが大気や海洋で吸収しきれず滞留することで起こる、地球温暖化問題である。ただし、再生可能資源だけ使っていれば環境問題は起きないかというとそうではなく、再生可能資源でも、それが再生できないほど過剰に消費され、ストック自体が維持されなくなってしまえば、

それはそれで大きな環境問題となる。野生動植物の乱獲により生ずる、種の絶滅や生物多様性の低下などの問題はこの種の環境問題である。

よく、現代の環境問題は経済をはじめ多くの事項と絡み合って起こっている複雑な現象であり、その原因や解決策をさぐるのは容易ではない、という声が聞かれる。もちろん、ある意味でそれは正しい指摘であるが、他方、上記のような模式図に沿って理解する限り、環境問題は、人間の活動がもたらす廃棄物が、自然環境が受け入れられる限度を超えたときに生じ、また、本来再生可能な範囲で使用すべき再生可能資源をその限度を超えて使用したとき生じるという、きわめて単純明快な現象であり、私たちはそのことを改めて思い起こす必要がある。

### 2. 持続可能な発展にかかる国際的取り組み

この環境問題をめぐって、1992年の中の「環境と開発に関する国連会議」、通称リオサミット以降、「持続可能な発展」という概念が定着した。これは1987年にブルントラント委員会が提唱した概念であり、「持続可能な開発とは、未来の世代が自分たちの欲求を満たすための力を減少させないように、現在の世代の欲求を満たすような開発である」というものである。

これは、当時、どちらかというと環境保全を重視する先進国と、経済成長を望む開発途上国との間ににおける大きなギャップを結びつける概念となり、開発か環境保全かという二者択一的な議論を回避し、より建設的な議論を行うという面で大きな役割をはたしてきた。しかしながら、一方で、この概念は、やや抽象的であり、現実に直面する「どこまで環境に配慮すればよいのか」という問題の直接の解決策とはならなかったという面がある。ところで、「持続可能な発展」をめぐる定義や議論はその他にも数多くあり、必ずしもブルントラント委員会の定義が唯一というものではない。

リオサミットでは、アジェンダ21という、21世紀に向けての持続可能な発展に関するいわば人類全体への指針というべき文書が合意された。そして、各国に対して、それぞれの国ごとの持続可能な発展戦略を策定すること、および、それを遂行していく

ための国家組織を作ることが求められた。これに応じて、各国はそれぞれ独自の発展戦略が定められてきている。

ちなみに、日本では当初、「日本版アジェンダ 21」と題する、アジェンダ 21 と全く同じ構成の政府文書が作成され、1993 年 12 月に国連に提出された。これは、当時としては最も早い対応であった。その後、日本では、環境基本法に基づく「環境基本計画」が閣議決定文書として作成されるようになり、現在では、この計画が、日本の持続可能な発展戦略として国連に報告されている。しかしながら、この計画は政府全体の文書ではあるものの、中央環境審議会の意見をきいて環境省が中心となって作成するものであり、その位置づけも環境の保全をもっぱらとするものを除き、各府省の政策の上に位置付けられる上位計画とはなっていないという大きな問題がある。

一方、ドイツでは、2002 年に国家レベルの持続可能な発展戦略である「ドイツの展望—私たちの持続可能な発展に関する戦略」を策定した。

### 3. 持続可能性についての概念

今日、国や政府の文書、あるいは民間企業の環境

関連文書を見ると、「持続可能な発展」、あるいは「持続可能な社会」という文言が数多く書かれている。

しかしながら、この「持続可能性」という概念については、先のブルントラント委員会の定義が有名ではあるものの、必ずしもそれが具体的に、どのようなことをイメージしているかということははつきりしていないという面があった。

そのような状況の中、2015 年には国連で持続可能な発展のための目標が国連で合意された（図 14）。

これは、環境のみならず、経済、社会全般にわたる貧困、健康、人権、不平等、平和といった現代社会の諸問題についての改善目標を掲げたものであり、これらが実現してこそ、持続可能な発展が実現するという考え方である。

これはこれで、筋のとおったひとつの考え方であり、先進国、途上国を含め多くの人々に現在、受け入れられているものであるといえる。ただし、環境の観点からいと、地球温暖化問題などは、これらの 17 の目標のなかの一つであり、これが、持続可能性の中で中心的な位置づけには、必ずしもなっていない。



図 14 持続可能な発展のための目標

(出典) 国連広報センター

環境経済学では、この持続可能性について、大きく分けて、二つの考え方がある。「強い持続可能性」と「弱い持続可能性」である。強い持続可能性とは、人間の経済成長には「最適な規模」があり、自然資本は人間の福祉の究極的な源泉であることから、森や海など自然資本の制約を超えて成長することは不可能であるという考え方である。一方、弱い持続可能性とは、自然資本は人間の福祉の決定要因のひとつであり、自然資本は、その他の人工資本等で代替可能であるという考え方である。この考え方の違いは、ある意味、大変大きな課題を人類に突き付けていると言える。人類は、もともと、地球上の自然資本に依拠して、それを利用し、その生命維持の基盤にも支えられて文明を発展させてきた。その過程で、石油や石炭といったそれまでは地球の生態系の循環にはなかった資源が使われるようになり、また、科学技術の発展により、多くの新たな物質や原子力などのエネルギーが使われるようになり、いわゆる直接的に自然資本のみに頼らなくても日常生活が営めるという状況を作り出してきた。

そのことは、かつては一部の権力者や富裕者のみが享受した大量の物質とエネルギーを多くの人々が享受し得るという社会状況を生み出した。その意味で、いわば自然資本の制約を離れたことにより、人類の文明は大きく飛躍しそれが、また、新たな経済成長の原動力となってきたというのが、この数百年の人類の歴史である。

しかしながら、その一方で、地球上の森林面積は激減し、野生動植物の絶滅など生物多様性も大きく損なわれてきている。さらに問題なのは、地球環境の要ともいえる大気の質が二酸化炭素の増加により変わってきていることであり、海洋についても、同様の変化が生じてきているということである。

現代では、都市に居住する人の割合がますます増加しており、そこでは身近に豊かな自然資本が存在しないにもかかわらず、快適な都市生活が享受できるという状況が生まれている。そこでは、自然資本が古来より果たしてきた生命維持基盤としての重要性を体験的に意識することが難しくなってきていているという状況がある。近年話題となった、子供の学習帳の表紙の虫の写真が気持ち悪いので花だけにしてほしいとの要望が消費者から寄せられ、学習帳のメーカーがそれに応じたというエピソードは、そのことを物語っている。

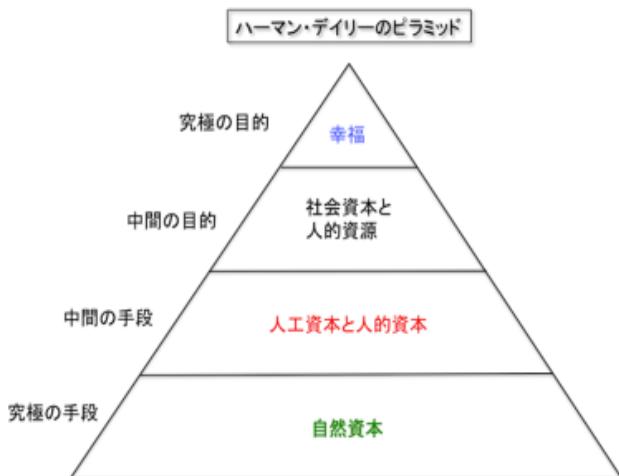
化石燃料の発見と産業革命は、人間を自然資本の制約から解き放ったと述べたが、一見すると、それは人類の飛躍のスタートを切ったとも言える一方で、それが現代の気候変動問題につながっているということは決して偶然ではない。

つまり、自然資本に人類が依拠してきた時代は、自然資本が人類の生存という持続可能性の基盤を担っており、人類はそこから踏み出す手段を持たなかつたかわりに、その大きな制約の中でその持続可能性を保障されていたともいえる。それに対して、18世紀以降の産業革命、科学革命、市場制度の発展により、そこから踏み出す手段を得た人類は、自然資本による持続可能性の保障を失い、人類自らが自身の持続可能性を保障しなければならないという事態に立ち至ったというのが現代の状況ではないだろうか。

強い持続性の考え方と弱い持続性の考え方の違いは、強い、弱いという言葉の響き以上に、大変大きな課題を人類に突き付けているという意味は、以上のとおりである。

#### 4. ハーマン・デイリーの3原則

以上の考察の文脈から見ると、ハーマン・デイリーの考え方、「強い持続可能性」の立場に立っている。



(source: Indicator and Information Systems for Sustainable Development, A report to the Balaton Group 1998 by Donella Meadows)

出典:旭硝子財団ブループラネット賞資料 2014年

10

図 15 ハーマン・デイリーのピラミッド

ハーマン・ディリーはアメリカの経済学者であり、1970年代に提唱した「ハーマン・ディリーの持続可能な発展の三原則」で知られる。図15で表されているように、ディリーの考え方には、決して環境だけが人間にとて重要であると主張しているわけではない。そうではなく、人工資本や人的資本に支えられた社会資本と人的資源の上に人々の究極の目的である幸福があるという考え方である。ただし、その幸福を支える、最も重要な基礎には自然資本があり、それが確保されていることが前提であるとの立場である。この立場から、ディリーは次のような三原則を提唱した。

①再生可能な資源はそれが再生できる範囲で使うべきこと、②非再生可能資源はそれが再生可能な資源で代替できる範囲で使うべきこと、③廃棄物や有害物は、自然が受け入れ浄化できる範囲で排出すべきこと。

これは、再生可能資源という点に着目した自然資本の重要性を意識した原則である。一方で、先に述べた弱い持続可能性の考え方には、自然資本は人間の福祉の決定要因のひとつであり、自然資本は、他の人工資本等で代替可能であるという考えである。しかしながら、従来の薪のような再生可能資源が、石炭という新たな非再生可能資源で代替できたと思った人類は、現在、気候変動問題に直面し、また、原子力発電所による発電で自然資本の制約を超えたと思った人類は、その事故や廃棄物処理コストも含め、危険性のコントロールの難しさに直面している。

その意味で、強い持続性の考え方には、人類が安易に自然資本をその他の人工資本で代替できるという考え方には強い警鐘を鳴らす立場であるともいえる。

これだけ科学技術が発達してきた現代においても、人類は、これまで地球の生命を支えてきた自然のメカニズムをすべて解明したとは到底言えない状況である。そのことを謙虚に受け止め、私たちは、あえて「強い持続可能性」をベースに今後の持続可能性について考えていくべきである。

もとより、このことは、これまでになかったような新たな技術などを一切使わず、江戸時代のような暮らしに戻るべきだということではない。太陽光発電や大型の風力発電などは、現代の技術開発がなければ実現しえなかつたものである。要は、自然資本の制約の中で、ストックとしての自然資本を維持し、そこからの再生可能資源などの恵みを、自然資本を壊さないかたちで如何にして効率よく活用できるかという方向での技術は今後とも進めていかなければならない。

## 文献

- 1) 篠橋一輝「クリティカル自然資本と持続可能性」、植田和弘教授退職記念シンポジウム資料、2017年3月8日
- 2) 一方井誠治「真のグリーンエコノミーに向けて」、環境情報科学、環境情報科学センター、2013

### 3. 持続可能な都市と交通

加藤 博和

#### 1. 都市・国土の空間構造を規定してきた交通

人にとって交通は、衣食住の次に重要な生活要素と言わざる事がある。人間活動は空間的な広がりの中で行われるため、各活動の空間的な配置や互いの位置関係による影響を受け、交通の態様も変化する。それが資源・エネルギー消費や環境負荷も変化させる。したがって、人間社会の持続可能性を考える上で、都市・地域や国土の空間構造を検討することは重要である。また、これらを構成するインフラや建築物は寿命が長いため、その変更・更新には長い時間を要することにも注意が必要である。もし、持続可能性への配慮に欠けた空間構造の形成を進めてしまうと、将来の人間活動が大きく制約されてしまうことになりかねず、そこから脱却するためにも時間がかかるってしまうからである。

日本では、これまで長期にわたる空間形成の結果、空間構造・交通体系が大きく2種類に分化した。1つは、公共交通機関が発達した高密な都市域、もう1つは、自動車に依存した低密な地域である。明治初期から第二次大戦後の高度成長期まで、日本では陸上交通の主役は鉄軌道であった。これは、江戸時代に幕府が、車（馬車や大八車といったたぐい）の使用を禁じ、街道や街路の舗装を行わない政策をとり、明治維新以降、政府が鉄道整備を優先的に進めたことによる。そのため、未開の地を買収して市街地整備を行い、線路を引いて土地分譲し、さらに沿線に店舗やレジャー施設を展開するビジネスモデルが大都市圏を中心に活発化し、現代にもつながる鉄軌道依存型市街地、いわゆる Transit Oriented Development (TOD) が、国・自治体でなく民間の力で進んだ。こうやって、鉄軌道整備によって都市構造が規定される一方で、道路の存在感は薄いままであった。自動車を保有できたとしてもまともに走れない道路環境だったからである。

しかし、1960年代以降は道路整備制度が確立され、整備が急速に進むとともに、所得上昇によって自動車保有も増加した。自動車関連税の多くが道路目的税と位置づけられ、自動車を保有・利用すればするほど税収が増えて道路整備が進み、それがまた自動車普及を促すフィードバックがかかるようになった。この過程で、東京・大阪など大都市圏は公

共交通が非常に便利で密集した都市構造となっていたため、自動車の利便性が高くならなかった。一方、他地域では自動車の利便性が勝り、都市構造も、公共交通を中心とした点・線的広がりから、自動車利用に伴って面的広がりへと変化し、住民の自動車依存型ライフスタイルの浸透が深まっていた。こうなってしまうと、公共交通を整備しても自動車からの転換は少なく、また都市構造を変更することも困難である。つまり、モータリゼーションは不可逆的な現象であり、その進展以前、言い換えると経済成長期以前に高密で公共交通利便性の高い都市域をつくり出しておくかどうかで、その後の都市構造が大きく変わってしまうのである。日本を追いかける形で、既に東・東南アジアではモータリゼーションがかなり進展している。今後は南アジアやアフリカで進展するであろう。

モータリゼーションは利用可能な土地を増やし、交流・交易を活発化することで経済成長の原動力となった。その一方で、化石燃料を多量に消費し二酸化炭素を多量に排出する。交通事故や公害といった形で人に被害をもたらし、道路建設や土地開発によって生態系を破壊する。人はどこにでも行き、住めるようになつたことで、地球環境への負荷も大きくなってしまったのである。モータリゼーションの適切なコントロールは持続可能な社会を形成するために重要である。

#### 2. ICTと脱物質化が交通活動を減らす

ところが、今、モータリゼーションに匹敵する変化が世界を席巻しつつある。ICT普及による「空間的な隔たりの無意味化」である。

人が1日のうちに交通活動に割く時間は昔からあまり変化していないという説がある。つまり、交通機関の発達によって速く遠くに行けるようになり、移動距離は増えたものの、移動時間が増えるまでには至っていないというのである。同様に、人が移動する回数（トリップ生成原単位）は比較的安定しており、1人1日あたり3回程度、1年だと約1000回というのもよく言われてきた。ただし、属性による差が見られ、日本では生産年齢に比べ高齢の、男性に対して女性の生成原単位や交通活動時間が小

さいことも知られている。

このような交通活動の特徴が大きく変化しそうな兆しが現れている。2016年末に国土交通省が公表した全国都市交通特性調査の結果(速報版)において、人の外出日数・回数が調査開始(1987年)以来最低となったことが分かった。しかしこれは、高齢化の進展だけでなく、若年層の外出が減っていることも寄与している。今回の結果では、休日は20代が70代に比べ1割ほど外出回数が少なくなっている。若者は通勤通学のような必要不可欠な移動を除くと、外出をしなくなっているのである。この傾向は大都市圏で顕著である。同様に大都市圏では、若年層の運転免許保有率も低下傾向にある。

今後高齢者になる層は、今の高齢者とは異なり、運転免許保有率が高いと予想される。若い時からモータリゼーションの恩恵を受け、高齢になっても自動車に依存したライフスタイルは簡単には変わらないからである。運転免許保有者はトリップ生成原単位が大きい。したがって、社会全体で見ると、移動の目的は変化しても回数や距離はそれほど減少しないと考えられる。一方、現在の若者は物心ついた時からインターネットが身近に使え、外出しなくても様々なサービスを受けられる環境にすることに加え、自家用車保有が経済的に困難か、得られる便益が費用に見合わないため、移動回数・距離が少なくなってしまっていると考えられる。

このように、交通活動の中身が変化するとともに、若年層を中心交通の代わりにICTを利用するが多くなることが考えられる。特に物資調達の面で影響が大きい。モータリゼーション以前は、徒歩や公共交通で移動するため、駅・バスターミナルを中心に商業地区が集積した。しかしモータリゼーションによって郊外の大型店に消費者が直接アクセスすることで、あたかも従来の卸売が小売に変化した。個人の買物交通が小売業者の仕入れを代替したのである。逆にコンビニエンスストアは多店舗化で少量多種輸送を効率化することで発展した。この流れによって中心市街地の商店街がシャッター街になったのである。

ところが、今後はICTによって移動を不要とするサービス革新が進む。流通業の多くがネット上のヴァーチャル店舗へ比重を移し、リアルの郊外店舗が倉庫・ショウルーム化していくだろう。さらに、勤務や会議会合、教育といった分野でもICT利用によるリアル感を高め移動を不要にするシステムが普

及していくだろう。以前は「ICTは交流機会を増やすのでリアルな移動もより活性化する」という意見も多く聞かれたが、むしろ、安定的と言わされてきた人の移動回数・時間がICT普及によって減少する可能性がある。これは特に、交通利便性が低い地方部で顕著となると考えられる。

ただし、旅客交通は減っても貨物交通はむしろ増えるかもしれない。交通網が全く無意味になるわけではない。その際、ロジスティクスやサプライチェーンが都市構造を決める要因としてより重視されるようになるだろう。一方で、社会経済の「脱物質化」が進展すれば貨物交通は減少する。交通活動の必要性が全体として減少すれば、居住環境や災害安全性といった観点が支配的になると考えられる。

### 3. 都市構造は「拡散」から「凝集」へ

日本は第二次世界大戦後、人口が急増し、2005年には1930年の2倍となった。しかし、これをピークとして人口減少が始まり、2080年には半分になると予測される。75年で2倍になり、75年で元に戻るのである。ただし、1人が居住や労働などのために使用する面積は増加しているので、必要となる都市域が半分になってしまうわけではない。そして、高齢化率は1930年に5%であったのが2005年には20%、そして2080年には42%となる。人口増加以上に広がった都市域を支えるインフラや建築物の劣化が進む一方で、それを更新するための経済力は衰え、そもそも広い都市域も必要としなくなる。日本の中山間地では人口が著しく減り、残った人も高齢者ばかりという限界集落が増え、里山や田畠の荒廃も進んでいるが、手をこまねいていれば都市域においても、廃墟だらけの荒涼とした風景が広がってしまうかもしれない。なお、日本を追いかけるアジア途上国では、日本を上回るスピードで都市拡大が進む一方で、少子高齢化進展も日本を上回るスピードになると予測されている。日本の今後の対応はそれらの国にとっても大いに参考になるであろう。

日本政府は2014年に公表した「国土のグランドデザイン2050」において「コンパクト+ネットワーク」を大方針として掲げた。人口減少・超高齢化と経済成熟に対応するためには、インフラ・建築物の間引き、そして「拡散」してきた都市域を「凝集」に転じることが欠かせないからである。これはむろ

ん、過度のモータリゼーションからの脱却なくして不可能である。その実現を推進するのが、土地利用の厳格な規制と、公共交通を中心とした交通網形成の2本柱である。しかしこれは、ここ60年ほど日本が進んできた道を逆行するようなもので、簡単にはいきそうもない。撤退すべき地域を指定すると、その土地は無価値になるため、地主は抵抗するだろう。そこで、従前の地価で政府が買い上げようとしてもそれを支払う余力がない。また、ある時期に強制的に全世帯を撤退させるのは現実的でないので、漸次撤退することになるが、残るのは高齢者など移転困難な世帯が主になると考えられるため、撤退完了までの間、継続しなければならない行政サービスは非効率となり、インフラも維持し続けなければならぬ。

このため、凝集先となるコンパクトシティを魅力的でかつ費用・資源効率の高い地区として更新し、それによってその地区的地価（＝付加価値）が相対的に向上していくことが、撤退を促進させるために極めて重要となる。そこで、市街地の維持費用や資源・エネルギー消費量がライフサイクルで少なく、住民のQOLがどのライフステージ・世代においても高くなるような工夫が必要である。前述のように、従来は交通活動の態様がこれら要因に及ぼす影響が大きかったが、今後は旅客交通の重みが減る一方で、周辺環境や災害安全性の重みが増すであろう。さらに気候変動への適応も想定する必要があり、災害に対してレジリエントな都市域に修正していくことも重要である。また、交通活動は現状で化石燃料への依存度が極めて高いことから、その減少は化石燃料消費や二酸化炭素排出の削減にも直結する。合わせて、域内で省エネ・蓄エネ・省エネを進めるために、熱をはじめとする未利用エネルギー活用や、電気自動車も含めた蓄電容量の増大、デマンドレスポンス導入による需要平準化によって、系統電力や化石燃料供給に頼らずとも安定的にエネルギーを地産地消できるマイクログリッドの形成も有効であり、災害時のレジリエンス性確保にも資する。高密でありながら共用空間の多い都市では自家用車が排除され、徒歩などのスローモビリティが主流となり、老若男女にとって住みやすく、コミュニティ形成にも寄与する。結果的に、経済・社会・環境いずれの面からも持続可能性が高い都市構造が実現される。

#### 4. 旅客交通はどう生き残るか

ここまで交通活動を、物流やコミュニケーションのための「必要悪」という扱いで論じてきた。人類はこの必要悪を軽減すべく、なるべく少ない労力と資源により自由に移動できる交通機関を開発し、交通網を整備する取組を嘗々として続けてきたことになる。ICTの普及は、この取組を代替してくれる、つまり、人の物理的な移動を伴わないで様々な活動ができる、という認識にもつながるだろう。しかし、人は本当に交通を必要悪ととらえているのだろうか。

交通計画・工学の教科書の冒頭には「交通需要の多くは他の活動のために必要だから行う派生的需要であり、それ自体をしたいから行うという本源的需要は少ない」と書かれている。しかし実際には、リアルに移動すること自体を楽しいと考えることは明らかに存在している。それは本源的需要だけでなく、派生的需要においてもである。むろん、今後Virtual Reality技術が進めば、よりリアルに近い感覚が得られるようになるであろうが、五感をすべて満たす臨場感を得るまでに至るかどうかわからない。いずれにせよ、リアルに移動し、途中や目的地でリアルを体験することならではの魅力（付加価値）を低炭素・低コストで得られるようにしなければ、旅客交通の需要は減少の一途をたどると考えられる。そうなると、中心市街地や観光地での人の賑わいがなくなり、また「場所」へのこだわりもなくなる、QOL確保の観点から都市構造を論じることの意味が薄れてしまう。このように今後は、交通とICT、リアルとヴァーチャルとの競合が激しくなっていくであろう。今後訪れる見込まれる自動運転やライドシェアの普及への動きは5.2節にて詳しく論じるとして、とりあえず、旅客交通や都市・地域づくりに携わる者が、それらを魅力的で、環境的にも持続可能なものにつくり替えていくための方法論をどんどんつくりだしアピールしていくことが必要である。人が何かをしたいと思ったとき、ネット検索で出てきた自動運転サービスを選ぶか、それとも移動しなくてもよいサービスを選ぶか、その嗜好が今後の交通システムや都市構造を左右することになる。

## 第4章 反グローバリズムとポピュリズム

### 1. 人類生存の持続可能性を脅かすポピュリズムの台頭

1991年のソ連解体を機に東西冷戦は終結し、情報通信技術の急速な進歩と相俟ってグローバル化が急速に推し進められた。グローバル化を良しとするグローバリズムが普遍化し、自由貿易が全ての国々の福利を増進させると確信されていた。ところが2016年6月の英国民投票による欧洲連合(EU)離脱の決定、同年11月の米大統領選での

の勝利は、反グローバリズム（反移民・反自由貿易）の台頭を招く嚆矢となった。今、世界は潮の流れの節目にある。

### 2. 米国の政権交代とパリ協定

米国の政権交代で、米国によるパリ協定の脱退の可能性が指摘されるが、米国政権内でなお意見が分かれている。気候変動枠組条約や緑の気候基金への資金拠出の停止・引き上げの可能性は高い。しかし、米国国内のエネルギーコストの構造により石炭からガス・再エネへの転換はさらに進み、米国の排出削減は引き続き進行する。州や都市、ビジネスが、パリ協定を支持し、脱炭素化に向けた対策・取り組みを進めていることも排出削減を後押ししている。

## 1. 人類生存の持続可能性を脅かすポピュリズムの台頭

佐和 隆光

### 1. 情報通信技術革新と社会主義崩壊が推進したグローバル化

いささかならず古い話になるが、ソビエト連邦が解体し、社会主義の崩壊が決定的となったのは、今からおよそ四半世紀前、1991年未のことである。第二次大戦後、半世紀近く続いた東西冷戦の時代についてに終止符が打たれたのだ。折しも、情報通信技術（ICT）の進歩が目覚ましく、社会主義崩壊の引き金を引いたのはICTだ、と私はかねて主張してきた。その理由は次の通り。

東西ヨーロッパの間には、「鉄のカーテン」と呼称された「見えない壁」があった。鉄のカーテンは、ヒトとモノの往来を妨げるには効あつたものの、通信衛星を媒体とする情報の往来を妨げることはできなかつた。西側諸国から発信される映像情報が、東側諸国に住む人々の目に、西側諸国に住む人々の自由を満喫する暮らしぶり、そして経済的な豊かさを痛いほど焼き付けた。ことほど左様に、東西の差異と格差を「見える化」させたICTの革新こそが、社会主義を崩壊させた真因なのである。

ベルリンの壁が崩壊したのは89年11月。その2年後のソ連解体により、鉄のカーテンがもろくも崩落したこと为契机にして、グローバル化（globalization）の幕が切って落とされたのだ。今や日常語と化した「グローバル化」は90年代に入つてから頻用され始め、あつという間に、20世紀末の世相を物語る際に欠かせぬ鍵言葉となつた。

東欧諸国のいずれもが、程度の差こそあれ、社会主義と決別し、政治と経済の自由化と民主化を推し進め、ヒトとモノの移動はもとより、情報の授受を妨げる「壁」もまたほぼ完全に取り除かれた。一党独裁の社会主義を堅持する中国やベトナムもまた、経済の面で市場経済化を推し進め、少なくとも経済的な成果に関する限り、大方の予想を裏切り、社会主義と市場経済を成功裏に両立させている。市場経済化を推し進めるに当たり、民主主義は必ずしも必要条件でなさそうだ。社会主義市場経済の進展、そしてシンガポールをはじめとする東アジア諸国、「開発独裁」が、それぞれの国の経済発展に効あつた過去の事例が示す通りである。

### 2. 自由貿易の良し悪し

人間活動のありとあらゆる側面でグローバル化は進展したのだが、グローバルな市場経済化がもたらす影響が、好悪両面を含めて、何にも増して大きかつた。コンピュータのマウスをクリックするだけで、世界の株式市場や外国為替市場で株式や為替を売買できる。国際決済銀行（BIS）が3年ごとに公表する1日当たり外国為替取引（直物）の総額は、2001年に4千億ドル弱だったのが、07年には1兆ドル強に、そして13年には2兆円強にまで膨らんだ。米国の住宅価格下落が世界の金融市場を揺るがし、08年の国際金融危機勃発の火種となる程まで、金融市場はグローバル化を遂げたのである。

先進国の製造業各社は、低賃金の途上国に生産拠点を移転させ、価格競争力の強化に専念した。低賃金で勤勉な労働力の有り余る東アジア諸国は、欧米諸国と日本の製造業各社を魅了した。途上国の労働者の賃金上昇は、自ずと購買力を高め、先進国の製造業各社の製品の市場拡大に寄与した。

1993年に「マーストリヒト条約」が発効し、西欧諸国の大半が加盟する欧州連合（EU）が発足した。その後、自由化・民主化へと転じた東欧諸国も相次いでEUに加盟し、2017年時点で加盟国は28を数える。経済の面で域内諸国間の仕切りがなくなり、域内での関税は撤廃され、ヒトの移住が自由化された。

経済効率という観点からすれば、28カ国の市場を統合することは確かに望ましい。米国、カナダ、メキシコの北米自由貿易協定（NAFTA）もまた1994年に発効し、3カ国間の関税の大部分が撤廃された。日本が参加する環太平洋パートナーシップ（TPP）も、発効直前にまで漕ぎ着けられていた。

ディビッド・リカードが著書 *Principles of Political Economy and Taxation* (1817) で唱えた比較優位の理論が「国際的な自由貿易がすべての国々の福利（welfare）を高める」という常識の論拠とされてきた。イギリスとポルトガルの2国を比較して、ワインと毛織物という二つの財の生産性において、両者ともポルトガルがイギリスを凌ぐのだが、それぞれの国内で2財の生産性を比べると、イギリスでは毛織物がワインを凌ぎ、ポルトガルでは

ワインが毛織物を凌ぐ。このことを、ワインも毛織物もポルトガルが絶対優位なのだが、イギリスでは毛織物が比較優位であり、ポルトガルはワインが比較優位であると言う。それぞれの国が比較優位なのに特化して、貿易すれば、両国の福利が共に高まる。

200 年前にリカードが唱えた理論は今もって健在であり、少なくとも原則として、自由貿易が推奨されてきた。しかし、リカードの 2 国 2 財モデルに対しても、次のような疑念が拭えない。イギリスのワイン工場で働く労働者、ポルトガルの毛織物工場で働く労働者はどうなるのか。いずれの労働も熟練を要するはずである。昨日までワイン工場で働いていた労働者に、今日から毛織物工場で働いてもらうことは可能なのか、との疑問である。また、リカードの想定しなかったヒトの移動（移民）や食料・資源の安全保障（何らかの紛争勃発により貿易が途絶える可能性）への配慮が、自由貿易のデメリットとして挙げられる。

### 3. 脅かされる自由主義と民主主義

以上を要約すれば、1991 年から 2016 年までは、グローバル化が花咲き実を結ぶ時代だった。四半世紀間続いた潮の流れを最初に堰き止めたのは、16 年 6 月に EU 離脱を可決したイギリスの国民投票だった。域内の移住の自由を定める EU 法にのっとり、東欧諸国から大勢の移民がイギリスに押し寄せ、賃金の低下、失業、治安の悪化を招いたことが、離脱派の言い分だった。要するに、イギリスの EU 離脱が反グローバリズムとポピュリズム台頭の引き金を引いたのだ。

16 年 11 月の米大統領選で、ドナルド・トランプが勝利した。トランプの立ち位置をポピュリズムと言うが、確かにトランプの経済政策の狙いは米国人の雇用創出一本やりである。メキシコを初めとする中南米からの不法移民の流入が雇用を奪う。米国や日本の自動車メーカーが、低賃金のメキシコで作った自動車を米国に輸出して雇用を奪う。雇用を取り戻すための対抗措置として、メキシコからの輸入に高率の国境税を課すると言う。同じく雇用を取り戻すために、大統領就任直後に TPP 離脱と NAFTA 見直しを宣言した。NAFTA 法案への署名に際し、クリントン元米大統領が「NAFTA は米国の雇用、それも給料のいい米国の雇用を創出する」と語ったのと実に対照的だ。

グローバル化を肯定的に捉えるグローバリズムの時代が、過去四半世紀間続いた。グローバル化の潮の流れは今後とも持続するものと、誰しもが予想していた。

今年が歴史的転換点となるか否かは間もなく決まる。3 月のオランダ総選挙、4 月のフランス大統領選挙、9 月のドイツ総選挙でトランプと同じく反グローバリズムとポピュリズムを理念に掲げる極右政党が台頭すれば、個人主義、自由主義、民主主義という西欧近代の育んだ価値規範は踏みにじられる。自由で競争的な市場経済を前提にすえる経済学も風前の灯となりかねない。誠に空恐ろしい話だ。

### 4. 新しい不確実性の時代

毎年、年始早々の日経新聞朝刊に、新年の経済予測について、著名経営者・エコノミストへの恒例のアンケート結果が掲載される。2013 年以降の 4 年間は、経済成長率、株価、為替レートなどの予測は、アベノミクスの効果をどう評価するかにより、人々、かなりの振り幅があった。しかし、2017 年の予測に関しては、16 年末時点で、トランプ次期大統領の政治・経済政策がどうなるか、また 17 年に予定される欧州諸国での選挙の結果、反グローバリズムとポピュリズムを唱える極右政党が台頭するか否かなど、国際情勢がまったく雲をつかむような有り様であるため、ほぼ横並び。回答者の間での際立った差異はほとんど見られなかった。

16 年 11 月の米大統領選挙で、トランプの当選が確実だと報じられるや否や、東京株式市場は 1000 円を超える大幅な下落を記録したのだが、半日遅れて開いたニューヨーク市場で、株価は予想外の大幅な上昇を記録したのを受けて、あっという間に、日本の株価も元に戻った。その後、日米ともに株価は上昇基調を続け、円安・ドル高が持続した。選挙の直後、なぜトランプ氏の勝利をアメリカの金融市場は好感したのか。次のような理由が考えられる。

第一に、空港、道路、橋梁、港湾などの老朽化した国内インフラへの公共投資大盤振る舞への期待。第二に、法人税減税と富裕層の所得減税への期待。第三に、金融の規制緩和への期待。第四に、環境規制の緩和への期待。第五に、貿易保護主義への期待。これら 5 つの「期待」は、米国経済成長と雇用環境の改善への期待を膨らませる。積極財政は、長期金利の上昇とインフレをもたらす。となると、

FRBによる政策金利の引き上げが早まり、日米の金利差の拡大が予想され、ドル買い・円売り（円安・ドル高）が誘発される。日銀の異次元緩和の目指す目標の少なくともその半ばが、トランポノミクス（トランプ氏の経済政策）によって援護射撃を受けるわけだ。

トランプ氏の反グローバリズムの狙いが、国内製造業の保護を専らとすることは否定しがたい。既に述べた通り、グローバリゼーションとは、1991年12月のソ連解体（社会主义の崩壊と東西冷戦の終結）と情報化の進展に伴い、国境をはじめ地球上の境界が消滅するという、起こるべくして起こった必然的「現象」を意味する。言い換れば、ヒト、モノ、カネの国境を越えての移動が相対的に「自由化」されざるを得なくなった現象をグローバリゼーションと言う。こうした現象を好ましく考えるのがグローバリズム、好ましくないと考えするのが反グローバリズムである。昨年6月23日の国民投票で、イギリスのEU離脱の賛成票が反対票を約3%上回ったが、これとても、東欧諸国からの移民に職を奪われ、労働市場の需給を反映して賃金が低迷することに対する、イギリス人労働者の反グローバリズムの顕在化にほかならない。

## 5. ポピュリズムの伝家の宝刀は「雇用」

2017年1月11日の初の記者会見で、トランプ次期大統領は「私はアメリカ史上最も多くの雇用を生み出す大統領になるつもりだ」と述べ、米企業の生産拠点の国外移転に歯止めをかけるべく、国外に移転した工場で生産された製品には、35%の国境税

(border tax) を課すとけん制してみせた。1月5日付けのツイッターで「メキシコにカローラを作る工場を建設中のトヨタに対して、メキシコで生産したカローラを米国で販売するならば 35%の国境税をかける」と警告していた。アメリカの自動車メーカー(GM、フォード、クライスラー)に対しても、分け隔てなく、メキシコで作る自動車に対して国境税を課すことだ。

1994年1月1日に発効した北米自由貿易協定(NAFTA)は、カナダ、アメリカ、メキシコの3国間の投資・貿易を自由化(関税等の障壁を除去)する協定である。日本の自動車メーカーのみならず、アメリカの自動車メーカーもまた、労働賃金がアメリカの6分の1に過ぎないメキシコに生産拠点を移転するのが、企業としての合理的な選択である。と同

時に、安価な乗用車を買うことのできる消費者にも恩恵が及ぶのだ。トランプ氏のツイッターの槍玉に上がったフォードは、いち早く、メキシコへの工場移転計画を白紙撤回した。トランプ氏は記者会見で「フォードに感謝したい。大手自動車メーカーGMもフォードなどの動きに続くことを期待している」と述べた。

「メキシコに工場を建設したからといって、アメリカの雇用を減らすわけではない」という言い訳は通用しない。なぜなら、仮にトヨタがメキシコ産の乗用車をアメリカに輸出すれば、アメリカ国内産の乗用車の売り上げは確実に減り、アメリカ国内の雇用は確かに減るからだ。トヨタは「今後5年間にうちに、アメリカ国内に100億ドルの設備投資をする」との意向を表明し、火消しに努めている。むしろ、次のような指摘が当を得た反論となるのではないだろうか。トランプ氏はメキシコとの国境に不法移民の流入を阻む壁を作ると言っている。日米の自動車メーカーがNAFTAの恩恵にあづからんがために、メキシコに工場を作れば、メキシコに雇用機会が生まれる。その分、メキシコからの不法移民は減るはずだ。

不法移民の原因是メキシコ国内の雇用機会の不足ゆえのことだから、自動車メーカーが生産拠点の一部をメキシコに移転するのは、メキシコ国境に「見えない壁」を作るに等しい。国境税を課すという、メキシコに自動車工場を作ることを、事実上、禁じる措置をトランプ政権が講ずれば、メキシコからの不法移民はますます増えることになるであろうことは疑いを入れない。

トランプ氏は記者会見で次のように述べた。「米国の通商交渉は失敗だ」「中国との貿易で年間数千億ドルもの赤字を出し、日本やメキシコとの間にも貿易不均衡がある」と。1980年代の日米貿易摩擦を彷彿とさせる言い分である。トランプ氏はTPPのような多国間交渉ではなく、2国間交渉が望ましいと言う。輸出の自己規制、現地生産、輸入障壁の撤廃といった、80年代末の日米貿易摩擦が再現しそうな気配である。

以上を要するに、トランプ次期大統領が記者会見で語った経済政策(トランポノミクス)は次の二つに尽きる。一つは、雇用を増やすことがトランポノミクスの最優先課題であり、そのためにはTPPは無論のこと、NAFTAからの離脱をも辞さないこと。トランプ氏を畏怖する企業がアメリカには少なくな

いことを如実に示すのが、アマゾン・ドット・コムが「今後1年半で10万人以上を新たに雇用する」と、トランプ氏の記者会見の翌日に早々と意思表示したことである。アマゾンのジェフ・ペゾスCEOは、大統領選挙中、反トランプの急先鋒だったワシントンポストのオーナーでもあり、本業のアマゾンに対して報復措置を講じられることを恐れてのことだろう。

もう一つは、アメリカ経済にとって、国内総生産比で4.5%にもものぼる貿易赤字の縮減が急務であるとの認識。とりわけ貿易赤字総額の49%を占める対中国、9%を占める対日本、8%を占める対メキシコの赤字を問題視する。意識してかしないでか、10%を占めるドイツには敢えて言及しなかった。貿易赤字の縮減もまた、トランポノミクスの最優先課題である米国内の雇用拡大に結びつく。

## 6. オバマ前大統領にNo!と言うトランプ大統領

大統領選挙中に確約していた法人・個人の大幅所得減税、インフラ公共投資、医療保険制度改革（オバマケア）の撤廃、金融規制緩和、気候変動対策の見直しについて、トランプ次期大統領は当選後初の記者会見（2017年1月11日）でまったく言及しなかった。国内雇用の拡大は、トランプ氏の支持に回った白人労働者層（もともとは民主党支持者）の「期待」に応えるものである。と同時に、極めて分かりやすい、疑問を挟む余地のない目標である。言い換えれば、雇用の保証と拡大は、ポピュリズム（大衆迎合主義）を象徴する政策目標である。

トランプ氏の記者会見が、雇用の保証・拡大に絞り込まれたのには、次のような理由もあると考えられる。大幅減税と大規模公共事業は、年間8千億ドル近くの財政赤字を抱えるアメリカの現状に鑑みれば、両立不可能と言わざるを得ない。こうした矛盾について、記者からの突っ込みを防ぐために、敢えて財政の問題への言及を避けたのである。トラン

プ氏はペンシルバニア大学ウォートンスクールの不動産学科の出身だが、意外とマクロ経済学には疎いのかもしれない。金融規制緩和、医療保険制度改革、気候変動対策などを持ち出すと、記者の質問責めに会いかねない。ツイッターでの一方的な決め付けで自説を吐露してきたトランプとしては、テレビ中継される初の記者会見で恥をかきたくないとの一心から、経済問題への深入りを避けたのだろう。

用心深いに越したことはないが、仮にトランプ氏がマクロ経済学のABCに無知だとすれば、トランポノミクスは、レーガノミクス（レーガン元大統領の経済政策）と同じく、「双子の赤字」（財政赤字と貿易赤字）をもたらすのだろうか。トランポノミクスとレーガノミクスの共通点を指摘する向きが多いけれども、トランポノミクスが、大型減税と財政支出（レーガノミクスは軍事費、トランポノミクスはインフラ整備）の拡大を両立させようとする点は確かに共通している。

しかし、トランポノミクスとレーガノミクスの決定的な差異は、前者が保護貿易主義を前面に打ち出しているという点である。つまり、レーガノミクスはドル高によるインフレ抑制に力点を置いたのに対し、トランポノミクスは国境税により国内製造業を保護するという、自由主義的な経済政策の基本に抵触することを辞さない構えだ。レーガノミクスは、たとえ「ブードウ・エコノミックス」（呪術経済学）と揶揄されようとも、アメリカ経済学界で一定の評価を得ていたサプライサイド経済学の「理論」に下支えされていた。

他方、トランポノミクスは、既存の経済学派のいずれにも与しない、否、支持する経済学者が恐らく一人もいない、理論武装の施しようのない経済学（？）である。今年の世界経済そして日本経済の動向がトランポノミクスにより搅乱されることに、まず間違いはあるまい。

## 2. 米国の政権交代とパリ協定

高村 ゆかり

### 1. 米国の政権交代とパリ協定

パリ協定採択に至る気候変動交渉をリードしてきたオバマ政権からトランプ政権への米国の政権交代によってパリ協定はどうなるのだろうか。

大統領選挙中に共和党が示した綱領(プラットフォーム)では、「京都議定書もパリ協定とともに議論の対象とはしない」とし、「協定は上院に提出され批准されるまでは米国に対して拘束力を有し得ない」とする。さらに、気候変動枠組条約への米国の資金拠出を即時に停止することを求める、1994年外交関係権限法(1994 Foreign Relations Authorization Act)に照らして、気候変動枠組条約と緑の気候基金(GCF)への資金の拠出は違法だとする。

パリ協定についてトランプ政権の明確な方針はまだ示されていないが、パリ協定から脱退するのではないかとの懸念も聞かれる。あり得るとされるシナリオの1つが、オバマ政権は、パリ協定を上院の助言と承認を求めず、大統領令で締結したが、その大統領令を取り消す大統領令を新たに出さないか、というものである。こうした大統領令を出すことは可能だが、それによって、パリ協定締結という米国の行為が国際的に無効になるわけではない。パリ協定が発効した今、脱退するには前述のパリ協定の手続に従うことになり、発効から少なくとも4年間は脱退できない。

もう1つの可能性は、パリ協定28条3項に基づいて、親条約である気候変動枠組条約を脱退することでパリ協定を脱退するというものである。法的には可能だが、気候変動枠組条約が、ブッシュ(父)政権の折に、上院の助言と承認を得て締結した条約であること、国際社会のほぼすべての国が締結し、共和党政権時代も含めて、四半世紀にわたって気候変動問題に対処する法的基盤となってきた条約を脱退することの外交上の影響などを考慮すると、政治的にはそう容易な選択肢ではないように思われる。

2016年11月のニューヨークタイムズ誌とのインタビューで、トランプ氏は、パリ協定について「I have an open mind(あらゆる選択肢を排除しない)」と述べ、協定からの脱退を示唆するこれまでの立場

より柔軟な対応を行う可能性を示唆した。エクソンのCEOで、次期国務長官候補のティラーソン氏も、2017年1月11日の指名公聴会で、気候変動問題に対処する議論の場を去ることよりも参加するほうがよい、と発言した。最近の報道では、政権内において、脱退といったパリ協定を否定する立場を明確に示すことの外交上の影響への懸念があり、脱退の選択については意見が分かれているとも伝えられている。また、トランプ政権の支持母体とされる米国の石炭産業も、海外市場に影響を与える米国抜きの国際ルールの形成を懸念して、米国がパリ協定から脱退しないことを望んでいるとも報道されている。

気候変動枠組条約への分担金や緑の気候基金への支払の停止・引き上げはより現実味がある。その理由が、パレスチナを国家として認める国連機関への対応という政治問題にも関わるからだ(パレスチナは、2015年12月18日に気候変動枠組条約を批准した)。

米国の分担金は、気候変動枠組条約の中核的活動の2016年予算の21%超を占める(日本は9.4%)。緑の気候基金への拠出誓約額100億米ドルのうち、米国の誓約額は30億米ドル(約30%)を占める(日本は15億米ドルで約15%)。2018年のCOP24をめざしてパリ協定の実施規則の交渉が本格化し、途上国も目標達成に向けて取り組みを進めようとしている中での予算と資金の制約が与える影響が懸念される。気候変動交渉においては長年資金支援の拡大が途上国から求められており、米国による資金停止・引き上げが行われれば、資金など支援策への途上国からの要求はより強くなり、交渉上もこれまで以上に大きな争点となるだろう。実際に、2017年4月に開催された、ブラジル、南アフリカ、中国、インドの4カ国によるBASICグループの会合では、途上国を支援する資金の不足の問題が議題の一つとなつた。

### 2. 米国の国内対策と排出削減へのインパクト

トランプ政権からは早々に石炭に関する規制の緩和の方針が示されており、オバマ政権の下で提案された石炭火力発電所からの二酸化炭素排出規制

をねらったクリーンパワー計画のような連邦政府の積極的な排出削減策は期待できない。

他方、米国の温室効果ガス排出量（森林等吸收源の吸收量は勘定に含まない）は、1990 年以降増加したが 2005 年頃をピークに減少傾向に転じた。2015 年の温室効果ガス排出量は、2014 年比で 1.1%、2005 年比で 9.4% 減少した。エネルギー起源の温室効果ガス排出量も同様の傾向を示し、毎年約 1.1% のペースで減少し、2015 年の排出量は 2005 年比 10.4% 減少した。2016 年の排出量は、2015 年比で 3% 減少した（経済成長率は 1.6%）。減少の要因は、石炭からシェールガスへの転換が進んだことであり、再生可能エネルギー（再エネ）の導入拡大による。2005 年に再エネ（大規模水力を除く）は米国の総発電量の 2.2% に過ぎなかったが、2015 年には 7.4%（大規模水力を含めると約 13%）にまで拡大した。

トランプ政権から積極的な対策がでてこなければ米国の排出削減の速度は遅れるかもしれないが、こうした排出減少の傾向は容易に止まりそうにはない。第 1 の理由は、米国国内のエネルギーコストの構造である。米国のガスの平均発電コストが 52 ドル/メガワット時 (MWh) であるのに対し、石炭の平均発電コストは 65 ドル/MWh である。トランプ政権は、石炭だけでなく、ガスの規制緩和の方針も打ち出しており、ガスのコスト優位は変わりそうにはない。陸上風力のコストは約 60 ドル/MWh で石炭より安い。太陽光も、連邦の投資減税や州の補助金の効果もあり、米国の大半の州で石炭より安く、半数の州でガスよりも安くなっている。

連邦の投資減税は、投資促進、経済活性化、雇用拡大を目的としたもので、共和党優位の議会で 2015 年末に 5 年間の延長を決定した。再エネ分野での米国の雇用は、2015 年に前年比 6% 拡大し 76 万 9000 人となった。投資減税延長前に行われた経済モデル分析では、延長なしの場合 2017 年に 10 万人の雇用が失われ、延長により、2016 年～2022 年の太陽光分野の雇用は、延長がない場合より 32% 増えると予測している。それゆえ、雇用拡大をうたう政権がこれを撤廃する可能性は小さいと見られている。

第 2 の理由は、相当数の州が独自に積極的な排出削減策・再エネ導入策を進めていることである。米国のエネルギー政策は州主導だが、約 30 の州が再エネ目標を設定する。2030 年に、カリフォルニア

州は総小売電力量の 50%、ニューヨーク州は総発電量の 50%、ハワイ州は総小売電力量の 50% を再エネにする。

さらに興味深いのは米国のビジネスの動きである。1000 を超えるビジネス・投資家が、低炭素経済を構築できなければ米国の繁栄が脅かされるとして、トランプ氏に対して、気候変動対策とクリーンエネルギー導入策の継続と拡大を求める書簡に署名した（Business Backs Low-Carbon USA <http://www.lowcarbonusa.org>）。ビジネスは、需要家の立場からも再エネ導入を牽引する。グーグル、マイクロソフト、ウォールマートなど、自社が消費するエネルギーを再エネ 100% にすることをめざして再エネ購入契約を結び、その量は 2015 年単年度 2.3GW に達した。今後 9 年間でその量はさらに 17.4GW 増える見込みである。

連邦の対策は後退するが、市場と州／自治体に牽引されたエネルギー転換により米国の排出削減は進む。ただし、政策の欠如によりその速度の加速を期待することはできないだろう。

### 3. パリ協定のこれから

米国の政権変更が明らかになった後もパリ協定の批准は進む。2017 年 4 月 13 日時点では、日本を含め世界の温室効果ガス排出量の 80% 超に相当する 142 カ国と EU が批准した。COP22 においても、各国はパリ協定の下で引き続き気候変動対策を進める意図を明確に示した。

米国の京都議定書離脱との大きな違いは、パリ協定を取り巻く経済・社会条件の違いである。技術開発と大量導入により世界的に再エネのコストが大きく低下し、世界的なエネルギー転換が進行する。他の電源と比べても経済合理的な選択肢となつた再エネの導入拡大は、気候変動対策としてのみならず、増大する途上国のエネルギー需要に応え、途上国の人々に安定的なエネルギー供給をもたらす施策として期待され、パリ協定はこうしたエネルギー転換を促進する制度的基盤として途上国からも強い支持を得ている。それがもたらす大気汚染の改善、雇用創出、産業振興、エネルギーの自給・安全保障などの効果も協定への支持を後押しする。前述したように、国以外の自治体、都市、ビジネスのイニシアティヴが育っているのも大きな違いだ。

政権交代の最も大きな影響は、連邦政府が主役となる国際交渉に現れることとなる。パリ協定の交

渉と合意、そして早期発効と、オバマ政権が発揮したようなリーダーシップを新政権に期待するのは難しいかもしれない。COP22で、パリ協定の実施規則を遅くとも2018年に開催するCOP24までに合意することとなった。5年ごとの目標の提出・引き上げの仕組みをどのような国際ルールで運営するのか、各国の対策の進捗をいかに報告し、審査するのか、協定を遵守しない国に対していかなる措置をとるのかなど、ルールづくりは実に多岐にわたる。京都議定書と異なり、途上国も国際的に目標を提出し、実施するパリ協定の実施規則づくりは、京都議定書以上に難しい交渉である。

COP22では、主要国が自国が得意とする分野で他国との協調・協働プラットフォームを立ち上げ、主導する動きが見られた。10の低炭素モデル地域、100の排出削減・適応事業、1000か所で気候変動関連のトレーニング事業を途上国で立ち上げる中国の南南協力のプラットフォーム「10-100-1000」、ブラジル主導で立ち上がった「BioFuture プラットフォーム」などである。インドとフランスが主導してCOP21で立ち上げ、2030年までに太陽光の大規模導入のために1兆米ドルの投資の動員をめざす「国際ソーラー・アライアンス」もCOP22で枠組み文書に合意した。

米国の政権変更による変化に動じることなく日本もその国益を見失わないことが肝要である。パリ協定がめざす世界の脱炭素化は、省エネ、再エネの世界市場を大きく拡大する。省エネ技術、再エネ技術に強みを持つ日本企業には大きなビジネスチャ

ンスでもある。世界知的所有権機関（WIPO）によれば、太陽光、風力など再エネ関連技術の特許保有件数世界上位20社のうち、パナソニックなど日本企業が実際に12社もランクインする。国際再生可能エネルギー機関（IRENA）によれば、日本は、米中を抜き再エネ関連の特許保有数は世界一である。パリ協定の実施規則を早期に合意し、パリ協定の本格始動に向け世界を牽引することこそ、日本の国益にかなうことを考える必要がある。

## 文献

- 1)高村ゆかり「米国不在でも進むパリ協定の枠組み」、『外交』、Vol. 41, Jan. 2017、2017年、121-127頁
- 2)高村ゆかり「パリ協定で何が決まったのか—パリ協定の評価とインパクト」、『法学教室』、2016年5月号（No. 428）、2016年、44-51頁
- 3)Green Climate Fund, Status of Pledges and Contributions made to the Green Climate Fund, Status Date: 07 December 2016.
- 4)IRENA, Renewable Energy and Jobs, Annual Review 2016, IRENA, 2016, p. 12.
- 5)Sarah Helm, Quentin Tannock and Ilian Iliev, *Renewable Energy Technology: Evolution and Policy Implications: Evidence from Patent Literature, Global Challenges Report*, WIPO, 2014.

## 第5章 シェアリング・エコノミー；ミニマリズム；限界費用ゼロ社会

---

### 1. 限界費用ゼロ社会の経済学

ジェレミー・リフキンは、「限界費用ゼロ社会」という著書の冒頭で、「資本主義は今、後継ぎを生み出しつつある。それは協働型コモンズで展開される、共有型経済（シェアリング・エコノミー）だ。（中略）そこでは、財とサービスの大半が無料となり、利益が消滅し、所有権が意味を失い、市場は不用となる」と述べる。特に、再生可能エネルギーは、インターネットの普及と同様の指數関数的な進展が見込まれ、環境負荷の少ない潤沢なエネルギーとなるとの見通しを述べている。リフキンの見方、考え方がすべて正しいとは限らないが、私たちに、検討に値する視点を提供している。

### 2. カーシェアリングと自動運転

IT化は、進化が遅れていた交通システムの分野に大きな変革を起こす。そのキーワードが自動運転とシェアリングである。運転免許と自家用車保有を前提としないモビリティの提供によって、交通弱者解消や車両効率化、そして交通事故減少といったメリットが社会にもたらされる。一方でセキュリティ確保は大きな課題であり、大量輸送機関も依然として必要である。交通網や都市の再デザインが今後急務となる。

### 3. 何のためのミニマリズムか

ミニマリズムは、モノを少なく持つというただのライフスタイルではない。エスカレートしてしまう消費から一度距離を取ってみてることで今まで信じられてきた「幸福」を改めて問う行為である。我々は間違ったゴールを目標にしてしまっているのではないかのだろうか。ミニマリズムは、人の行動原理にある「幸福」を再起動する。

# 1. 限界費用ゼロ社会の経済学

一方井 誠治

以下の記述については、ジェレミー・リフキン著「限界費用ゼロ社会」に多くを負っていることを最初にお断りしておきたい。もとより文中引用以外の部分については、私の意見として文責を全面的に負うものである。

## 1. 資本主義経済から共有型経済へ

リフキンは、著書の冒頭でこう述べている。「資本主義は今、後継ぎを生み出しつつある。それは協働型コモンズで展開される、共有型経済（シェアリング・エコノミー）だ。（中略）協働型コモンズは、所得格差を大幅に縮める可能性を提供し、グローバル経済を民主化し、より生態系に優しい形で持続可能な社会を生み出し、すでに私たちの経済生活のあり方を変え始めている」、次いで、「そこでは、財とサービスの大半が無料となり、利益が消滅し、所有権が意味を失い、市場は不用となる」。

これはある意味、驚くべき主張である。今日、豊かさのなかの貧困が問題とされ、格差の解消が声高に指摘され、グローバル企業が国家を超えて力をを持つようになった弊害や、気候変動問題など、ほとんど解決のめどがついていないような人類社会の大問題の多くが今後、改善に向かう可能性があるというのである。

その根拠について、リフキンは次のように述べる。すなわち、このことは、はじめて言われ始めたものではなく、つとに以前から高名な経済学者などが主張していたものであるというのである。

例えば、20世紀の経済学者であるケインズは、「わが孫たちの経済学的可能性」という1930年の小論のなかで、次のように述べているという。「これから年の年月には「技術的失業」という言葉を何度も耳にするだろう。これは、労働力の新たな使途を発見しうる速さを、労働力の使用を節減する手段の発見が凌駕するために生じる失業を指す。（中略）技術的失業は、短期的には人を苦しめるものの、「人類が自らの経済の問題を解決していること」を意味するから、長期的には大きな恩恵である」。そして、「こうした必要が満たされ、さらなる精力を経済以外の目的に傾けたくなるときが、間もなく、ことによると私たち全員が思っているよりもずっと

と早く、到来するかもしれない」。

ケインズや同時代のランゲが予見していた資本主義体制の核心にある矛盾は、次のような資本主義の二つの局面にあるという。まずは、「生産性を押し上げ、限界費用を押し下げるという、競争的市場に固有の企業家のダイナミズム」であり、「消費者が製品の限界費用だけしか支払わないような経済こそ最も効率的であること」にあるという。

次いで、このような状況になると、一方で企業は十分な利益を得ることが難しくなるため、「市場が、限界費用がほぼゼロの最も効率的な経済を目指し、ほぼ無料の財とサービスの実現に向かうのを防ごうとする」ことである。すなわち、資本主義が成功すればするほど、それが世界の表舞台から退場せざるを得なくなるというのである。

それに代わり登場してくる共有型コモンズも、これまで全くなかったものが突如出現するのではなく、実は、資本主義市場や代議政体のどちらよりも長い歴史を持つ、世界で最も古い、制度化された自主管理活動の場であるという。それらのコモンズは現代へも受け継がれており、例えば慈善団体や宗教団体、芸術団体や文化団体、生活者共同組合や消費者団体など公式、非公式の組織が含まれている。

もともとは、このコモンズは封建時代の農牧業において農民たちが結束して共有型経済を形成し、その資源を最大限活用し分ちあう経済モデルとして発達したという。それが現代ではソーシャルコモンズとして、社会的関係資本という言葉で理解されるようになってきている。ただし、このような共有型コモンズが生み出すのは、おもに金銭上の価値ではなく、社会的価値なので、その意味でも資本主義市場とは大きく趣を異にしている。リフキンの表現では、「資本主義は私利の追求に基づいており、物質的利益を原動力としているのに対して、ソーシャルコモンズは協働型の利益に動機づけられ、他者と結びついてシェアしたいという深い欲望を原動力としている」という。

以上の主張が荒唐無稽と言えないのは、現にインターネットなどの通信・情報革命により、それを裏付けるような多くの実例を目にすることができます。今日では、消費者はもはや単に市場か

ら出来上がった製品を買うだけの存在ではなく、例えば、自分で作った動画をインターネット上で公開する生産者(これをプロシューマという)もある。

「プロシューマーたちは、自分自身の情報や娯楽、グリーンエネルギー、マスメディア、3D プリンター製品、大規模な公開オンライン講座を協働型コモンズにおいて限界費用がほぼゼロで新たに生み出したりシェアしたりしているだけではない。自動車や住宅、果ては衣服まで、ソーシャルメディアのサイト、レンタル店、再流通クラブ、共同組合などを通して、低い限界費用やほぼゼロの限界費用でシェアしている」のである。

## 2. 大規模集中型から小規模分散型のエネルギーシステムへ

以上の経済体制の大きな変化の予測のなかでも、エネルギーに関するものは、人類の持続可能性にとって大きな意味をもつものとなる。

リフキンは、同書第 5 章の「極限生産性とモノのインターネットと無料のエネルギー」で次のように述べている。「再生可能エネルギーの分野と、IT やインターネットの分野には驚くべき類似点が二つある」「第一に、再生可能エネルギー技術のエネルギー採取能力は、太陽光発電と風力発電で指数関数的に増加しており、地熱発電、バイオマス発電、水力発電もそれに続く見通しだ」「第二に、コミュニケーション・インターネットのインフラ確立の初期費用はかなりの額にのぼったものの、情報を生み出して流通させる限界費用はごくわずかであるのと同様、エネルギー・インターネットもまた、確立に必要な初期費用は膨大だが、太陽光や風から電力を生み出す単位あたりの限界費用はほぼゼロだ」。

さらに、続けて、リフキンは次のように述べる。「この傾向が今のペースで続けば、太陽光発電による電気は 2020 年までには現在の電気の小売り価格と同程度まで下がり、2030 年までには現在の石炭火力発電の半値になるだろう」。

実際、ドイツは、EU の電力自由化とあいまって、再生可能エネルギーの短期市場価格がその他の電源による市場価格よりも低くなるケースが出てきているという。

さて、これらのエネルギー需給の大変化は、新たな技術とシステムの構築によって起こってきた。すなわち、いわゆる大規模集中型の電力供給システムから小規模分散型のエネルギー供給システムであ

る。これまで、石炭や天然ガスのような化石燃料を使用する発電所にしても、核燃料を使う原資力発電所にしても、その効率を高めるため、できるだけ大規模のものとし、そこで作られた電気は送電線を通じて、個々の需要者に送られていた。そして太陽光発電や風力発電などは、技術的には比較的以前から存在していたものの、主として、コストがかかり、経済的に引き合わないという理由で普及することがなかった。

それが、化石燃料による気候変動などの社会的コストが世界的に認識され、かつ、2000 年初め頃から欧州を中心に本格化した再生可能エネルギーの固定価格買い取り制度の導入などにより、技術の改善とコストの低下とあいまって、まさに再生可能エネルギーの普及が、一般国民の間でも広まった。

このことは、これまで、エネルギー問題は、国や大きな電力会社などの問題であり、一般の国民が関与できるものではないという認識から、エネルギーシステムはそれぞれの地域で自分たちの選択で作り上げていくことのできるものであるという認識に変わってくることとなった。それは、例えば、ドイツの都市すでにみられる、再生可能エネルギーをベースとしたエネルギー自給都市という考え方や運動にもつながり、地域や住民を主体とした地域の持続可能な社会の構築という動きにもつながってきている。

ただし、再生可能エネルギーをめぐるこのような動きは、果たして本当に実現し、また、それは持続可能性の観点から全く問題ないものなのであろうか。

ひとつ留意しなければならないのは、化石燃料と原子力を中心とする大規模集中型発電から小規模分散型の発電へのシフトが進む可能性が高いとしても、やはり、それを実現するには、いわゆるスマートグリッドをはじめ、多くの技術的、システム的なバックアップが欠かせないことである。特に、日本のように、そのような大きな方向についての国民的合意が確立されていない場合は、化石燃料や原子力などにかかる既存の産業界と再生可能エネルギーにかかる新たな産業界の間で、深刻な政治的摩擦が生じる恐れがある。その意味でも、国家レベルでのきちんとした持続可能な発展戦略を策定し、ある程度時間もかけつつ計画的に行っていくことが重要である。

いずれにしも、エネルギーのベースを再生可能エ

ネルギーにすれば、環境問題や資源問題の観点から的人類への持続可能性への悪影響はかなりの程度減ずることが期待される。

### 3. 協働型コモンズの台頭

さて、リフキンのいう共有型経済、そして協働型コモンズの世界というのは、どのような世界なのであろうか。リフキンは、第10章のコモンズの喜劇と題する章で、アメリカの法学教授であるキャロル・ローズの主張を紹介している。

「純粋な私有財産や政府が管理する「公有財産」以外に、政府にも個人にも完全には管理されていない「本質的に公共の財産」という独特的の部類がある。それは、社会全体が共同で「所有」し「管理」する財産で、その所有権は政府当局と称されるいかなる管理者からも独立しており、また、そのような管理者の所有権より実際に優位にある」。

それは、言い換えるれば、水路を自由に航行したり、田舎道を散歩したり、公共広場を利用したりする、いわゆる慣習的な権利だという。これは、かつては最も基本的なもので、例えば公共広場という場所を通じて私たちが他者とコミュニケーションを図り、他者と過ごす時間を楽しみ、その地域のコミュニティを育むうえで欠かせない要素であったという。

つまり、かつては「共同で」参加する権利が基本的な所有権であるのに対して、私有財産、要するに囲い込み、所有し、締め出す権利は、基本からの限定的な逸脱にすぎない。現代ではその限定的逸脱の方が規範になってしまったも同然であるとリフキンは述べる。

さらに、リフキンは、2009年に女性として初のノーベル経済学賞を受賞したエリノア・オストロムが著した「コモンズの統治—集団行動のための制度の進化—」という本について次のように紹介している。「コモンズは非常に優れた統治組織であり、しだいにつながりを深めるグローバルな世界で人類が直面する、環境、経済、社会の諸問題の点から再考に値することをこれまでの実績が示している事実を議論の余地のないまでに明白にした」。

なお、オストロムの研究には、日本の徳川時代に1200万ヘクタールを超える山間の草地や森林が、何千、何万という村の管轄するコモンズ方式の取り決めの下で統治されてきたことも触れられているという。

オストロムが主張したことの一つは、これまで多

くの経済学者が基本的な前提としてきた、人間の本性は、あくまで利己的で各自が自己決定権を最大にしようとするという考えは、決して、人類の普遍の真実ではなく、人間の本性は集団的社交性に負うところの方がはるかに大きいということである。

リフキンによると、歴史的な視点から見ると、近代の各国では、社会における基本的なインフラやサービスは、政府によって管理してきた。日本における明治維新以降の動きもその例外でない。しかしながら、その管理が必ずしも効率的に行われないと不満が高まり、それらのものも自由市場に委ねた方がよいとの声のもと、各国で規制緩和と民営化がはじまつた。しかしながら、その結果は必ずしも満足のいくものではなかった。

つまり、一方で中央集権化され、ときに入間味に欠ける官僚的な政府による管理、かたや収入源や利益の源泉に、生活にかかわるあらゆる面を取り込もうとしている、操作巧みで締まり屋の巨大な民間部門、という両極端に対して、人々は幻滅し、経済生活を構成するもっと民主的で協働型の方法を見込めるような統治モデルを探し始めたのである。そして彼らはコモンズを再発見した、とリフキンは言う。

確かに、現在、インターネットというのは、世界をつないで、新たな人間の活動領域を生み出しているように見える。そして、その領域は単に情報交換の場にとどまらず、これまでの市場経済に代わる新たな価値観に基づいた新たな社会のシステムとしての協働型コモンズの可能性を広げているように見える。

### 4. 所有からアクセスへ

さて、急速にモノとインターネットが結びつきつたる現代では、所有からアクセスへの変化が起きているとリフキンは言う。たしかに、自動車を手放し、カーシェアなどでそのサービスのみをより低コストで利用するという現象が起きつつある。また、車にとどまらず、建物や衣服をはじめあらゆるモノを所有して自分ひとりが使うという形態から、あらゆるものを使い、共同で使うということが現実化している。もちろん、最終的には、すべてのものを共同化するということにはならないであろうが、従来のような所有をベースとした資本主義市場はますます限定的なニッチ市場へと縮小し続けるだろうとリフキンは予想する。

しかしながら、このような変化は、経済学でよく

言及される「リバウンド」を引き起こさないだろうか。これまでよく見られたように、コストの低下分が他のところを含め、新たな需要を喚起しないだろうか。この点についてrifkinは、次のように述べ、その懸念を否定している。「誰もが自分の欲しいものの多くを好きなときに、ほぼ無料で手に入れられる社会では、(中略) 明日がどうなるか不安で、なんとしてもより多くのモノを手に入れようとする執拗なまでの衝動から、人間の気質のかなりの部分が解放される可能性が高いということだ」。

## 文献

---

- 1) ジェレミー・rifkin、限界費用ゼロ社会の経済学、芝田裕之訳、NHK 出版、2015 年

## 2. カーシェアリングと自動運転

加藤 博和

### 1. 「人に頼る」交通の限界

交通部門は、ICT 普及やシェアリングエコノミー進展によって、今までにない革新が起こる可能性がある。それは、過去に起こった、動力を化石燃料から得るようになったことによる革新や、自家用車普及すなわちモータリゼーションによる革新に匹敵するか、それ以上のインパクトをもたらすかもしれない。

交通行動は、各交通主体（人や荷主）がその経験や得られる情報を元に行う選択の積み重ねである。しかし交通状況は時々刻々と変化するため、最適な選択をすることが非常に難しい。すなわち、市場原理が機能するために必要な「不特定多数の参加」と「完全情報」のうちの後者を満たさない。例えば都心部で駐車場が全体的に足りない状況になった場合、駐車場の満空情報が得られなければ、駐車場をいくつ回っても満車で途方に暮れる人が多数出る上に、それによってムダな交通が生じ渋滞が促進される。一方で、情報を出すと、空いている駐車場に殺到してその周辺道路が混雑したあげくに満車になり、結局他の駐車場に回らないといけないクルマが出てくるかもしれない。したがって、交通主体が最適な交通行動を選択するのを支援するために交通状況に関する情報を出すのであれば、それによって交通主体が選択をどのように変更し、それによって交通状況がどう変化するかまで考えておく必要がある。交通工学の分野で一時注目された「交通需要マネジメント (Transport Demand Management: TDM)」の取組は、このような問題意識を元にしており、交通状況の予測技術なども組み合わせて、運転操作や経路選択のみならず、手段や目的地、出発時刻の選択までも変化させることで、交通状況の最適化を図るものである。

その後、交通主体への情報伝達の手法や内容は、急速に進展する情報技術を活用することによって充実していった。カーナビゲーションシステムの上にリアルタイムの渋滞状況が表示される「道路交通情報通信システム (Vehicle Information and Communication System: VICS)」はその典型である。これを含めて様々な ITS(Intelligent Transport Technology) 技術が実用化されている。日本ではこ

の言葉を「高度道路交通システム」と訳し、英語にはない「道路」に限定しているが、公共交通においても情報技術の導入は進んでいる。大都市圏の高頻度運行や新幹線の高速運行を支える運行管理システムはもとより、利用者に対する遅延・運休情報の提供や、インターネットにおける乗換検索サイトの充実によって、以前に比べて利便性が向上している。これら交通をめぐる情報技術の進展は、TDM の支援にも活用することができる。

また、交通が抱える大きな問題である事故を削減するためにも様々な技術が導入されてきた。自動車の安全性能向上は著しく、このところ交通死亡事故は減少傾向にある。

しかし、これらの技術によって交通行動の最適化や事故の削減を進めようとしても限界がある。それは、交通主体たる人の選択に頼る面が大きいことに起因する。いくら情報提供や安全性能向上によって支援しても、ハンドルを握りペダルを踏むのは人である。各自の利己的で、時に判断を誤るような選択に頼っている限りは、渋滞も事故もなくなっていていかない。

一方で、日本では職業運転者不足がここ数年で急速に顕在化している。2000 年代初頭の運輸事業規制緩和によって待遇が悪化したことが主な原因である。全国的に、運転者不足を理由とするタクシーの稼働率低下やバス路線の減便・廃止が目に付くようになっている。高齢化が進展し、運転免許の保持についてもより厳しい手続が導入されてきている。しかし、タクシー・バスによる旅客運送は重要さを増しているにもかかわらず、十分な供給ができない状況に陥っている。

### 2. 自動運転

ここ数年、「自動車の自動運転」は話題の技術となっている。運転の煩わしさから人を解放し、安全性も高まり、職業運転者による公共交通供給制約も緩和できる夢の技術と言えるだろう。報道で多く取り上げられ、それを見ていると一般に普及する日も遠くないように思えてくる。開発に携わっている企業や研究者の方々と話をすると、限定された状況下では実用化が視野に入っているものの、一般に広く

普及するまでにはまだ相当な時間がかかるようである。しかし、ITの世界は進化が速く、そのスピード感で世界中の道路デジタルデータが整備され、その自動更新がシステム化され、道路状況や歩行者・自転車等の動きもリアルタイムで把握され、それらデータに基づいて人工知能(Artificial Intelligence: AI)が自動車を安全に走らせることが可能となる日が、予想より早く来るかもしれない。

自動運転に先駆けて、まず自動車のIoT(Internet of Things)技術導入、すなわち「動くインターネット端末」化が進むであろう。合わせて動力の電動化も進めば、自動車はもはや家電製品の一種である。これによって大きく変わるとと思われる自動車市場の絵姿をいち早くデザインし形成し占有できるかが今問われている。

既存技術を前提につくられた制度に囚われていれば、その間に自動運転の基本ソフトウェアも通信プロトコルも運用ルールも決まってしまい、できるようになった時には先行者が形成した市場に従うほかなく、何らのイニシアティブも発揮できない立場に甘んじなければならない。これは近年のICT(Information and Communication Technology)が生み出した様々なプロダクトやサービスが歩んだ道と同じである。自動車産業をリードしてきた日本としては先行者を目指していきたいところである。そのために、様々な既存の制度枠組の見直しも必要となってくるだろう。

### 3. ライドシェア

一方、自動運転に比べると話題になることは少ないが、やはりこのところ注目が集まっているのが「ライドシェア」である。これは「シェアリングエコノミー」の自家用車版であり、自身の移動だけでなく他人の移動にも使うようにするというものである。別々の移動を1台にまとめることができれば費用が低減でき、交通量そしてエネルギー消費・環境負荷の削減にもなる。

自家用車の相乗り(カープーリング)は渋滞緩和策として以前から考えられ、アメリカなどでは具体的の推進策が行われていたが、同一方向に同一時刻に移動する人をマッチングさせる方法が限られるため普及しなかった。これが、インターネット上で需要と供給を募集しマッチングさせるサイトを立ち上げ、さらにスマートフォンが普及して移動時にその応募や閲覧が可能となることで解決された。ただ

し、移動目的を持っている人同士をマッチングさせることは確率的に容易ではない。ところが、出てきた需要に対して、自分は特に移動目的がなくともその運送に名乗りを上げることも可能である。それを見越して、インターネット決済を可能とし、運転者の質を保証するために利用者評価の履歴公開も附加したスマホアプリが開発され、世界各地で一般化した。

最大手のUber社は創業8年足らずで世界の70以上の国、550近くの都市に展開した。日本でも東京でタクシー配車サービスを行っており、さらに過疎地域における有償ボランティアによる白ナンバー車での運送(道路運送法79条に基づく自家用有償運送)にも手をつけるようになった。Uberのアプリは一般タクシー(緑ナンバー車)の予約配車システムとしても活用できるが、自家用車ライドシェアに活用することで有効性が増す。なぜなら、タクシーは規制のため供給量・運賃とも固定的であるが、自家用車ならどちらも可変にでき、アプリによって需給のマッチングが即時的に可能となり、より柔軟な市場が形成できるからである。そもそも、自家用車の間合い利用のため経費は安くなり、利用者の運賃はタクシーより安く済む場合が多くなり、自家用車保有者もアプリ事業者も利益を得ることができる。ただし運賃が可変であっても需要を満たせるような供給が現れるかどうかの保障はない(市場原理に任せ)仕組みである。

なお ride-sharing(相乗り)は本来、発着地が似通った人たちが1台の乗り物に同乗すること(uberPOOLやnottecoなどが当てはまる。広義には乗合公共交通も含まれる)だが、上述のように、現在よく言われているライドシェアは、運転者自身の移動目的ではなく、専ら運賃収入を得るために人を運ぶことを目的としており、英語では ride-hailing(車を呼ぶ)と言うことが多いようである。

日本の現行法で、白ナンバー車による自家用有償運送は、緑ナンバーのタクシー・バスでサービス供給不可能な地域や対象者(高齢者や障がい者など)の運送で、自治体が主宰し関係者が参加する協議会で認められたもののみ走ることができ、それ以外は違法である。そのため公共交通空白地で試行されているが、このような地域ではそもそも自動車交通量が少なく運転者確保も容易でない。主な利用者となる、自家用車が使えない高齢者の大半はスマホにも慣れていない。よってもし全面合法化となれば、む

しろ都市部での普及が見込まれ、顧客層はタクシーと重なってくる。既存の法人タクシー事業の枠組や無線配車システムが無力化され、選択可能性が低い駅等での待機や流し営業も比較劣位となる可能性がある。Uber 等から予約配車を受ければ手数料負担が必要となり、顧客獲得の主導権も奪われてしまう。タクシー・バス業界は、自家用車ライドシェアが合法となれば、そうなった外国の諸都市のように、事業の存立が危うくなり、運送の安全が保障されず、運賃も大きく変動するようになり、移動環境が大きく損なわれると主張し、強硬に反対している。

なお、ライドシェアと似たものとして「カーシェアリング」があり、日本でも普及が進んでいる。これは、クルマを共有して必要な時に使用する仕組みで、費用削減効果が期待できる。日本では特に地方部で、自家用車保有が一家に1台から1人に1台へと進んできたが、自家用車の稼働率は低く、時間ベースで平均 10%未満というデータもある。といつても稼働は通勤時間帯などに集中するため、共有化の推進には限界があるが、特に自家用車利用が少ない大都市圏では一般的になっている。

#### 4. 次世代モビリティの形

以上で挙げた、自動運転、ライドシェア、そしてカーシェアリングは互いに親和性が極めて強く、それらを組み合わせた次世代モビリティの形を描くことができる。自家用車ライドシェアでは供給を柔軟に可変できるが、運転者確保が制約として残る。しかし自動運転が一般化すればそれを考えなくてよい。その時、緑ナンバーや運転者の二種免許が無意味化する。タクシーと自家用車ライドシェアも混然一体となってしまう。自動運転となれば、自家用車保有者としては自分が使わない時にライドシェアに供給したいと考える人も出てくるであろう。そもそも保有をやめライドシェア利用に転換する人も増えるだろう。その結果、共有自動車によるライドシェア利用が多数を占めるようになる。この可能性を踏まえると、今から自動車メーカーがライドシェアアプリ運営事業者と協業したいという意志を持つことは当然である。ここでも先行者、すなわち多数の供給者と需要者をいち早く確保することが重要となるからである。

ライドシェアでは予約（出発時刻と目的地、車種等）が必須であり、アプリ運営事業者は予約・走行データを得る。個人情報であることに注意が必要で

あるが、様々な分析に利用できる。検索サイトによる検索ログの活用と全く同じである。渋滞が予想される経路や時刻について課金を重くするピークプライシングも効果が期待できる。自家用車はカーナビへの目的地登録だけで自動運転してくれるようになり、使わない時はライドシェアに利用してもらえる。

なお、自動車が自動運転になると公共交通が不要となるという主張を見ることがある。確かにタクシーはライドシェアと混然一体となってしまうが、バス以上の輸送力を持つ中大量輸送機関は（自動運転となって）残り続ける。ライドシェアによって相乗りが進んだとしても、自家用車サイズでは輸送力が小さすぎて、中大量輸送機関を代替することができないからである。そのため、車両の予約時に中大量輸送機関への乗換が推奨されるシステムとなると考えられる。すなわち、乗換検索サイトでタクシー＝ライドシェアの予約も可能となるイメージである。こうなってくると、予約に応じてバスやオンドマンド乗合交通といった輸送が仕立てられることで、ルートやダイヤが可変となるかもしれない。それゆえに、幹線となる鉄軌道や BRT (Bus Rapid Transit) のように専用軌道を持つ輸送機関のネットワークと、それを軸とした都市・地域の空間構造を形成できるような土地利用・施設計画が非常に重要なとなる。

#### 5. まとめ

以上、将来の「自動運転+カー・ライドシェア社会」について簡単に想像してみた。現状のように各交通主体が限られた情報から判断して交通行動し、それによって渋滞や事故、環境負荷増大などの問題を引き起こしている状況から、限られたインフラや車両を活用し各主体の需要をできる限り満たしつつ費用を効率化する形への転換が見込まれる。輸送の効率化に加え、電動化（再生可能エネルギー活用を前提）によって環境負荷の大幅削減も考えられる。いわゆる移動制約者にとっても利用しやすい交通手段が提供されやすくなり、事故も少なくなる。

同時に、公共交通や輸送にかかる事業モデルも大きく変貌する。3.3 節でも述べたように、IT 進展によって旅客交通は減少が見込まれるもの、代わりに貨物交通が増加すると考えられる。物流事業者のロジスティクスシステムと連動することで貨物輸送も効率化し、また省人化のメリットも大きいと考

えられる。

一方で、自動運転を実現するためのシステムや、シェアリングのためのマッチングシステムについては独占化が進まざるを得ないであろう。その場合の個人情報の扱い、そしてセキュリティ面の不安が懸念される。IoT 技術全般に言えることであるが、セキュリティホールを突かれることによる社会混亂は計り知れないものになる可能性に注意を払うべきである。

自動車業界や IT 業界などがこの技術革新に向けて猛進する一方、それによってビジネスモデルが崩

壊もしくは変化する可能性が高い旅客運送業界は、現状ではほとんど手を打てていないどころか、IT 活用に関しては他業界よりも遅れている状況にある。IT を中心とした新技術を運行管理や顧客サービスに積極的に取り入れ、旅客運送サービスにブレークスルーを起こしていくことが急務であり、それを怠れば他からどんどん参入され、駆逐されてしまうであろう。また、IT でいろいろな活動が「交通しなくとも」できる社会において「それでも交通したいと思う」訴求力がある交通網をつくることも大きな課題である。

### 3. 何のためのミニマリズムか

佐々木 典士

#### 1. ミニマリズムが生まれた背景

ミニマリズムの要旨は「モノを少なく持つこと」ではない。それは、肥大化してしまった人間の生活の本質を改めて考え直すことにあったと思う。

ミニマリズムという言葉は、1960 年代に音楽や建築、芸術の世界すでに生まれていた。モノやその他を自分に必要なだけにし、シンプルに生きるライフスタイルという意味でいうと、アメリカでは 2000 年代の末、リーマンショック近辺に生まれ、日本で言えば東日本大震災の後、2011 年以降に徐々に知られるようになってきた。時を同じくして、モノはスマホに代表されるように集約化されるようになり、クラウドデータに置き換わるサービスも進んだ。初代 iPhone の発売は 2007 年（本格的にスマホが普及した iPhone4 の発売は 2010 年）、Facebook、twitter の日本でのサービス開始は 2008 年。クラウドストレージの Dropbox の日本語でのサービス開始は 2011 年。kindle 日本語版のストアは 2012 年にオープンした。

今までのような経済成長は望めなくなり、消費を謳歌することは難しくなった。日本で言えば、短いサイクルのうちに各地で巨大な地震が起こり、モノは虚しく失われるだけでなく災害時には凶器と化すことが知れ渡った。一方で、スマホがあれば大抵のことは事足りるようになった。分厚い辞書も、大きなカメラも、電卓もスマホに 1 台に置き換わった。本も、写真も、音楽もデータ化され、クラウドストレージで保存すれば手元には何も持たなくても済むようになった。今までのようには持てなくなり、また持つ必要もなくなった。そんな時にミニマリズムが生まれたのは、考えてみれば当たり前かもしれない。すべての準備が整っていたのだから。

#### 2. 「幸せ」を考え直すためのミニマリズム

芸術としてのミニマリズムが生まれたとき、「芸術」は肥大化していたのだろう。何が芸術の本質なのか、よくわからなくなっていた。生活面でのミニマリズムで考え直されたのは、ぼくは「幸せ」だと思っている。「幸せ」という言葉が曖昧に過ぎるなら「行動基準」と考えてもいい。

幸せの一部でしかないお金やモノのためにリソ

ースのほとんどが捧げられてきた。何かを買うために懸命に働く。そして買ってきていたモノの管理のために膨大な時間がかかる。労働と家事の疲れを癒すためにまたお金がかかる。お金がかかるからまた働くなければならない。「幸せ」はあのあたりにあるはずだと、皆が信じて懸命に働いてきた。そうして豊かな国ができた。1960 年と比べて 2010 年の 1 人あたりの実質 GDP は 4 倍にもなっている。しかし幸せのひとつの指標である「生活満足度」は 50 年間ずっと横ばいのまま。なぜお金やモノは人を幸せにしてくれなかつたのだろうか。

#### 3. なぜ「お金」「モノ」は幸せをもたらさなかったのか

答えのひとつは簡単で、人は手に入れたお金やモノには、いつしか慣れていってしまうからである。ひとつ例え話をしたい。糖度が 10 のトマトがあるとする。これを甘いと感じる人は、普段、糖度が 5 や 8 のトマトを食べている人である。糖度 10 のトマトをいつも食べている人にとっては、当たり前のトマト、糖度が 12 のトマトを食べている人からすれば、むしろ酸っぱいトマトである。糖度が 10 ということは、ただの指標でありそれをどう感じるかは人によって変わる。糖度 10 のトマトを食べられる状態を皆が目指し、全員が食べられるようにならざとしたら、当たり前にあるつまらないものになる。糖度が 10 という数字を GDP でも、年収 1000 万円でもなんでも置き換えてみるのがいい。数字になるものは、合理的でわかりやすく目標になりやすい。それを人は求めて行動するが、実際それを手に入れたあとに、人が感じることは不合理の極みである。心理学ではこういう現象のことを「快楽のランニングマシン」(Hedonic treadmill) と言う。ランニングマシンは数字上では、何キロ走ったか示してくれる。が、実際に走っている人は同じ場所のまま留まっている。

ではより幸せを感じるためにはどうしたらよいのだろう。ひとつの示唆的な研究がある。「幸せ」について史上最も長い研究と呼ばれているのが、ハーバード・メディカルスクールが行った、ハーバード成人発達研究である。75 年間 724 人の男性を、

カルテの入手や、血液検査、家族のインタビューなどさまざまな手段で追跡調査した。対象もハーバードの学生、ボストンの貧困層、職業もレンガ職人や医師など様々である。この研究でわかったことは、人を幸福に、健康にするのに一番大きな要素は「人間関係」であるということだった。50歳で最も幸せな人間関係を築いていた人が、80歳の時いちばん健康状態がよかつたと言う。豊かな人間関係は、人を記憶障害からも守ってくれたという。人間関係のためにお金が必要になることもあるだろう。しかしいちばん何が必要かと言えば話を聞き合い、協力し合い、喜びを分かち合うための時間である。

ウルグアイの元大統領、ホセ・ムヒカ氏はこう言った「人は金でモノを買っていると考えているけれども、働いた貴重な人生の時間で買っているんだよ」と。人が幸せを感じているとき、食事をするでも、音楽を聞くでも、風呂に入るでも、子どもの寝顔を見るでも、昼寝をするでもなんでもいいが、必ず時間のゆとりがあるはずだ。

#### 4. 「所有」の概念が揺らいでいる

モノを個別所有し、消費して楽しむことは人類の「はしか」のようなものだとぼくは考えている。バブル時代の日本がそうであったように経済成長が著しい国では今後も同じような現象が起ころう。誰もが一度は憧れ、そうしてみたいと思う。「はしか」のように一度は罹患してしまう病。日本ももちろん感染した。昭和30年代であれば、テレビは貴重なものだった。地域で1台しかなければ、懇願してそこに見に行く。面倒だ。各家庭に一台持てばわざわざ見に行く必要もなくなり、便利だ。個別に所有したいという欲求は留まることを知らない。次第に一部屋に一台持つようになり、兄弟でチャンネル争いする必要もなくなった。今であれば一人一台のスマホでなんでもできるようになり、代わりに失われたのはコミュニケーションだった。同じ娯楽と一緒に楽しむことはコミュニケーションだし、「貸し借り」そのものがコミュニケーションだったのだから。

江戸時代であれば、トイレも井戸も各家庭にはなく、共有だった。もちろん風呂も銭湯で芋洗い状態だった。面倒なこともあつただろう。しかしそこで礼儀を学び、世間を知るコミュニケーションが花開いていたはずだ。個別所有が進み、利便性を求めすぎたせいで失われてしまったコミュニケーション。

お隣同士の、醤油の貸し借りはコミュニケーションだった。今では隣同士誰が住んでいるかもわからない。

失われたコミュニケーションを取り戻そうという試みもある。たとえば、今全国に1000軒あり、今も増え続けているゲストハウスがそうだ。ゲストハウスは基本的にドミトリの二段ベッドのスタイル。そしてキッチンやシャワールーム、リビングは共有だ。そこでは旅人同士が国を越えて交流し、共に料理を作ったりお酒を酌み交わしたり、サードプレイスのように機能している。それぞれの部屋に設備がついているは、こういったコミュニケーションは生まれない。

東京にある「喫茶ランドリー」にはカフェの機能とともに、アイロン、ミシン付きの「家事室」がある。モノの個別所有がいき渡った果てに生まれてきているのは、あらたな共有の試み、江戸時代の長屋の再建のようでもある。

新たなコミュニティを作る試みも盛んだ。かつての人間関係が閉じた怪しい共同体ではなく、SNSでゆるやかにつながった出入り自由な人間関係を元に、半自給的な暮らしやパーカルチャーの実践が行われている。熊本の「サイハテ」、長野県安曇野市の「シャロムヒュッテ」、福岡県糸島市の「いとしまシェアハウス」、千葉県いすみ市の「平和パーカルチャー道場」、箱根の「箱根エコビレッジ」など。開設資金はクラウドファンディングで調達され、達成率は高く、そういった場所は今も増え続けている。

今は、モノのやりとりに関してもインターネットを通じて新しいコミュニケーションが生まれてきている。例えば「ジモティー」というサービスがある。簡単に言えば、近所に住んでいる人たちでのマッチングのサービス。いらないモノがある時、取りに来てくれるのであれば無料や格安で譲りますよというサービスである。兄弟や親戚間で年長者の服を次々に回していく「お下がり」という文化があるが、これを今は日本中で知らない人同士で行うことができる。

また「メルカリ」という個人間売買のサービスに注目している。ぼくはこのサービスで「所有」というものの概念すら揺らいできていると思う。今までには企業から買ったものを手放す時に、中古品を扱う企業に二束三文で引き取ってもらうしかなかった。個人間売買のサービスを使えばモノを買ったとき

の値段と、売ったときの値段が著しく近づいてくる。例えばぼくは、2万円で買ったリュックを1年半使い、メルカリで1万5000円で売ったことがある。こうなると、もはや所有していたものを売ったのではなく、1年半のレンタル代として5,000円払ったような感覚になってくる。ひとつのものを自分が使って終わりではなく、個人間売買によって社会で共有しているようなイメージ。所有するのではなく、モノのプロセスに一時的に参加するようなイメージだ。

メルカリは日本で5000万ダウンロード、海外にも進出し、アメリカでも2500万ダウンロードされている。この流れが加速しない理由がないので、もはや新たなインフラのように機能するのではないかと考えている。

## 5. ミニマリズムで本当に手に入れたもの

ぼくがミニマリズムを実践し、手に入ったものはたくさんある。

- 1) モノを買うために長時間働いたり、モノの管理に使うための時間を減らしたので、ゆったりとした時間ができた。
- 2) モノを減らし小さな住まいによくなつたので、大きな固定費である家賃が少なく済むようになった。
- 3) 気にするべきお金が減ったので、低収入でも好きな仕事をできる自由が得られた。
- 4) 以前はモノのために使っていたお金を、旅や友人と過ごす時間のために、使うようになった。そして人間関係は以前よりも遙かに豊かになった。

今や時間があり、自由な住まいを選ぶことができ、好きな仕事ができるようになった。何よりミニマリズムの実践で手に入ったいちばん価値あるものといえば「ミニマリスト」コミュニティーの仲間たちとの関係性ではないかと今になって思ったりする。何が「幸せ」かという概念は複雑で、ここで簡単にまとめることはできないが、その本質は経済的に豊かになり、金やモノに交換することよりも、ここにあげたようなことに近いはずだ。

「環境に配慮する」「将来世代のことを考える」ということも、利己的に振る舞い、短期間の利益を手にするよりも、多少手間がかからうがそうするほうが幸せだと当人が感じるからだ。そうしなければ苦しいと当人が感じるからだ。「幸せ」は人を行動に向かわせる原動力であり、目的である。信じてきた目的地は、どうやら少し修正されなければいけないらしい。

一方で、ミニマリズムが存在できるのは、停滞しているとは言え、まだ豊かな経済のおかげだとも思う。ミニマリストはそんな中で生まれた「局所的ユートピア」に過ぎないのだろうか？ 経済を最優先にしてきた人々の行動はあまりにもバランスを欠いていた。ミニマリズムは「ライフスタイル」ではなく、そのバランスを今一度考え直す「機会」であると考えるようになった。その意味でミニマリズムは生涯続けなければいけないようなものではなく「小さな門」のようなものだと思っている。その門をくぐってみれば、身軽になり、自分の信じてきた価値観を問い合わせることができる。

ミニマリズムを紹介した拙著「ぼくたちに、もうモノは必要ない。」は21カ国語に翻訳されることになり、ミニマリズムは各国で広がっている。その「小さな門」を多数の人がくぐり始めている。

## 第6章 経済成長がすべてなのか

### 1. 資本基盤の持続可能性

人口減少社会においては、人的資本、人工資本、自然資本、社会関係資本の四つの資本基盤がそれぞれ劣化していくことにより、社会の持続可能性が脅かされる。資本基盤とは、有用性をもたらすメカニズムを備えた存在で、有用性を与えることによってなくならないものである。今後、資本基盤ストックに関する手入れのニーズがどの程度充足されているかを測定する指標や、人口1人当たりの適切に維持管理されている資本基盤ストック量に関する指標など、ストックベースの経済指標に切り替えていく必要がある。

### 2. 経済成長と民主主義

2015年6月8日、「人文社会系学部・大学院は組織の廃止またはより社会的要請の高い分野への転換を求める」との趣旨の文部科学大臣通知が86国立大学長宛に届いた。経済成長の担い手である理工系人材の養成を大学の使命と心得、人社系学部を無用と決め付けるのは、わが国文教行政の伝統に他ならない。人社系学部の使命は、民主主義の健全な担い手の養成である。「経済成長のない国」と「民主主義のない国」。あなたはどちらの国に住みたくないですかと問いたい。

### 3. 市場経済の限界

これまでの歴史を振り返ると、市場経済の発展は、確かに私たちの福祉を向上させてきたという面があるが、近年では市場経済の発展とともに環境問題の深刻化や、経済的格差の問題、さらにはそこで働く人々の幸せや生きがいとの乖離などの問題が生まれてきているという別の側面がある。これを根本的に解決していくためには、市場経済の前提となる社会のルールの再検討が必要である。また、個人でできることとしては、ジュリエット・ショアが提唱する、「市場から距離をおくこと」「自給すること」「真の物質主義に立ち戻ること」「コミュニティーへの再投資」が参考になる。

### 4. 人工知能と雇用

人工知能(AI)の進化は日本の労働力人口の49%を失職させるとのこと。工場は無人化し、事務労働の大半はAIに置き替わり、医師、弁護士を始めとする専門職の肩身も狭くなる。国内総生産(GDP)は資本と労働に分配される。現在、70%前後の労働分配率は10%程度に低下し、90%前後が資本に分配される。雇用者所得の平均税率は4%程度。利子配当所得税率は20%、法人所得税率は30%。労働分配率の低下により急増する政府の税収を公共サービスの雇用増大に充てれば、雇用の喪失を防げる。

## 1. 資本基盤の持続可能性

倉阪 秀史

### 1. 人口減少と高齢化による持続可能性の低下

日本は、経済社会の持続可能性という観点から見れば、大きな転機にさしかかっている。人口が2008年をピークに減少傾向に転じたのである。

このことは人的資本の減少として捉えることができるが、人的資本の減少は、人工資本、自然資本といった物的資本の手入れを行う労働力の減少を意味する。

人工資本については、高度成長期に作られたさまざまな建築物や建造物が更新時期を一斉に迎えることとなる。たとえば、国土交通省では、今後、インフラ整備のうちの更新・維持管理費は急増し、2030年ごろには現在のほぼ倍の15兆円に達し、その後も同じ水準を維持すると見込んでいる。

また、自然資本については、人工林、農地など、いったん手を入れた自然が放棄されていくことを意味する。たとえば、林業従事者数は、1980年の14万6千人から、2010年には5万1千人まで急速に減少している。また、仕事として農業に従事した基幹的農業従事者数も、1985年の542万8千人から、2015年に175万4千人まで減少した。なお、基幹的農業従事者の平均年齢は、2015年に67歳となっており、今後もさらに農業従事者数の減少が見込まれる。

自然が放棄されることは、自然の質の劣化につながる。生物多様性国家戦略では、2007年の第三次国家戦略以来、自然に対する人間の働きかけが縮小撤退することによる影響を生物多様性の危機として捉えている。放棄された人工林を中心に、イノシシ、シカなどの鳥獣が繁殖し、その管理が課題となっている。

さらに、人口が減少していくことによって、孤独死、買い物難民、無縁社会といった言葉に象徴されるように人ととの助け合いのネットワークが損なわれていく。社会関係資本の劣化である。たとえば、単身世帯比率は、1986年に18.2%であったが、2030年には倍増し37.4%になると予測されている。

このように、人口減少社会においては、人的資本、人工資本、自然資本、社会関係資本の四つの資本基盤がそれぞれ劣化していくことにより、社会の持続可能性が脅かされることとなる。

### 2. 資本基盤ストックの持続可能性とは何か

では、ここで改めて資本基盤とは何かを定義づけることとしたい。

資本基盤とは、有用性をもたらすメカニズムを備えた存在で有用性を与えることによってなくならないものと定義する。

類似概念に、エコロジカル経済学におけるファンドーサービス資源という概念がある。1971年の『エントロピー法則と経済過程』において、ニコラス・ジョージエスク＝レーゲンによって、ファンドとストックが違うということが指摘された。彼は、ホテルの一室や電球をファンドの例として、あめ玉をストックの例としてあげている。この整理に基づき、ハーマン・ディリーとジョシア・ファーレイのエコロジカル経済学の教科書では、ファンドーサービス資源とストックーフロー資源の区別がなされている。前者は、当該資源が使用されても物質的に変形されず、繰り返し使用することができる資源であり、後者は、当該資源が使用された場合に物質的に変形して後に残らない資源である。本稿での資本基盤は、ファンドーサービス資源に相当するものとなる。

一方、ストックーフロー資源に相当する概念として、通過資源という概念も定義しておきたい。通過資源は、有用性を与える際に物質的に変形して後に残らないものとして定義される。通過資源の使用は、環境負荷の増大につながる。環境負荷とは、人間の活動によって物理的環境に加えられる影響であって、生態系サービスを用いて同化される必要があるものを指す。環境負荷が発生すれば、生態系サービスの量は減少する。

枯渇性資源とは、通過資源の中でも、当該資源を産みだす自然資本基盤のメカニズムが失われてしまったものを指す。鉱物資源や化石燃料がその典型である。原子力発電の燃料であるウランもまた枯渇性資源である。

一方、更新性（再生可能）資源とは、通過資源であって、それを産みだす自然資本基盤のメカニズムが存在しているものを指す。太陽光、風、波、地熱、潮の満ち干、生物資源（バイオマス）などが典型である。更新スピードを超えて使えば枯渇する。

水は、雨水、表流水、海水のように水循環システ

ム（自然資本基盤）によって更新されるものは、更新性資源である。一方、砂漠地帯の地下水や氷河水のように、水循環システムから切り離されている場合は、枯渇性資源である。農作物は、更新性の通過資源であり、農地は、自然資本基盤と人工資本基盤が組み合わさった農作物を産みだす資本基盤である。獲った魚は、更新性の通過資源であり、魚を再生産するシステムが魚についての資本基盤である。完全養殖している場合であっても、魚という種自体は自然資本基盤である。

さて、資本基盤には、それぞれ、有用性をもたらすメカニズムが持続できなくなる閾値が存在する。たとえば人的資本基盤には、人間の生命や健康を持続するための諸条件が存在する。人工資本基盤には、人工物の維持補修更新に関する諸条件が存在する。自然資本基盤には、農地・林地などの有用性を確保するための諸条件が存在する。社会関係資本基盤については、他の三つの資本基盤よりは明確ではないが、人々の協力関係を持続させるための人間の居住条件（数・密度）についての閾値が想定される。

このとき、資本基盤の管理原則は、システムが持続できなくなる閾値の見積もり、閾値に近づいているかどうかを確認するフィードバックシステムの備え、外的搅乱によって一部が損傷しても良いようにバックアップや区画化の備えなどから構成されるものとなる。

たとえば、サイモン・レヴィンは『持続不可能性』の中で、環境管理のための八戒として、①不確実性を減らせ、②不意の事態に備えよ、③不均一性を維持せよ、④モジュール構造を保て、⑤冗長性を確保せよ、⑥フィードバックを強化せよ、⑦信頼関係を築け、⑧あなたが望むことを人にも施せ、の8つを提示している。

この中には、市場における効率性を追求する考えからは出てこない原則が存在することに留意すべきであろう。たとえば、利潤最大化のみを追求することは、同種の作物の作付けを招き、脆弱な生態系を生み出すことにつながってしまう。

また、資本基盤は「手入れ」（メンテナンス、ケア）をすれば、より長期間使用できるようになり、また、単位時間当たりのサービス提供量を増やすことができる。

閾値のレベルの判断や資本基盤を持続させるための手入れの量の判断にあたっては、それぞれの分野の自然科学の知見を参照する必要がある。たとえ

ば、人的資本基盤では医学や看護学的な知見、人工資本基盤では工学や建築学的な知見、自然資本基盤では生態学、農学や林学的な知見をそれぞれ参照しなければならない。

### 3. フローの豊かさからストックの豊かさへ

人口減少下の社会においては、経済発展の指標をフロー指標からストック指標に見直していく必要がある。

フロー指標からストック指標へ転換する必要性について、50年前に指摘したのが、ケネス・ボルディングである。ボルディングは、来たるべき宇宙船地球号の経済学という論文の中で、環境制約が顕在化した経済（宇宙飛行士経済）では、環境制約のない経済（カウボーイ経済）とは異なるとして、次のように述べている。「宇宙飛行士経済の成功の基本指標は、生産量や消費量ではなく、人間の身体の状態を含む、総資本ストックの状態や、量や、質や、多様性である。宇宙飛行士経済で、最も重視されるのが、ストックの維持であり、より少ない通過物（つまり、より少ない生産と消費）で与えられた総ストックを維持できるようになる技術開発は明らかに進歩である。」

ボルディングの議論は、資源エネルギーの使用に伴う環境負荷に着目すれば、物的な生産・消費のフローを拡大することを良い経済の指標とすることは妥当ではなく、人間の生活を支える資本ストックの状態を健全に保つという指標に転換していくなければならないことを示すものであった。しかし、地球温暖化という全地球的な環境制約が顕在化したにもかかわらず、いまだ、資源エネルギーの使用に伴う環境制約を十分に認識し切れていないことから、GDPの対前年度成長率に象徴されるフローベースの経済指標が世界各国の経済運営で重視されている状況である。

しかしながら、日本が直面する人口減少・高齢化によって、まず、経済を支える人口基盤の縮小によってフローの拡大が困難になってきた。同時に、地域において資本基盤ストックの維持管理負担を賄いきれなくなってきた。この二つを通じて、否応なしに、経済指標をフローベースから、ストックベースに切り替え、資本基盤ストックの持続可能性を考えざるを得なくなったのである。

このとき、資本基盤ストックに着目した経済指標としては、たとえば、適切に介護・医療サービスを

受けられている要介護者・患者割合、適切に維持更新されている建築物・インフラ割合、適切に維持管理されている耕地・人工林割合など、資本基盤ストックに関する手入れのニーズがどの程度充足されているかを測定する指標や、人口1人当たりの適切に維持管理されている資本基盤ストック量に関する指標などが想定される。

これらの指標については、人口が減少していく社会においても、ポジティブな方向で目標設定できる。1人当たりの健全なストック量をより増やしていく方向の豊かさを目指すことになるのである。また、維持しきれない人工資本や人手が入った自然資本については、計画的に壊していったり、天然更新に切り替えていったりすることも考える必要がある。この方向も含めて、ストックの豊かさを確保する方向で、今後の経済社会を発展させていく必要があろう。

#### 4. 「成長部門」と「持続部門」からなる経済

今後の経済部門としては、「成長部門」と「持続部門」という二種類の経済部門のバランスがとれた経済を実現していく必要があろう。

「成長部門」とは、域外に顧客を持ち、域外から域内に収入をもたらす経済部門である。一方、「持続部門」とは、域内の各種資本基盤の維持管理更新を行う経済部門である。この二つの経済部門は、互いに独立ではない。たとえば、農業部門で特産品が開発できれば、域外から収入をもたらすとともに、域内の農地の管理を行うことができる。このように重なる部分はあるが、フローの拡大に寄与する経済部門と、ストックの維持に寄与する経済部門として、

これら二つの経済部門を想定することには意味があろう。

「持続部門」としては、人的資本基盤に関しては、保育、教育、医療、介護といった職種が該当する。人工資本基盤については、建築・建設、修理、再生リサイクルといった職種が該当する。最近、注目されているシェアリングサービスも既存の人工資本基盤を活用するという点から、持続部門に入れることができよう。自然資本基盤についての典型的な持続部門は、農林水産業である。本稿のテーマとなっている再生可能エネルギー業も自然資本基盤についての持続部門であろう。社会関係資本基盤にかかる持続部門としては、公務員や商店街などを含むまちづくりに関するNPOなどが該当しよう。

「持続部門」は、地域密着型で労働集約的ということが言えるであろう。地域の風土や地域社会のニーズに応じたビジネスであり、大規模大量生産のようなビジネスモデルとは異なる。このため、概して利幅が少ないビジネスである。一方、地域社会に資本基盤ストックを維持する以上、その量に応じた持続部門へのニーズは継続的に期待できるところである。

現在、保育士、介護士、社会資本の維持更新への従事者、農林水産業従事者など、資本基盤ストックの維持管理に関する人材が十分に確保できていない状況にある。

資本基盤ストックの維持管理のためには、その規模を適正に保つとともに、「成長部門」による収入を適切に資本基盤ストックの維持管理に投入するための税財政上の仕組みを導入することが求められる。

## 2. 経済成長と民主主義

佐和 隆光

### 1. 文部科学大臣通知の波紋

「教員養成系学部・大学院、人文社会系学部・大学院については、18歳人口の減少や人材需要、教育研究水準の確保、国立大学としての役割等を踏まえた組織見直し計画を策定し、組織の廃止や社会的要請の高い領域への転換に積極的に取り組むよう努めることとする」との文部科学大臣通知が、2015年6月8日付けで各国立大学の学長宛てに届いた。

それに先立つ2013年11月、文科省は「国立大学改革プラン」を公表しており、2016年度に始まる第3期中期に向けて、各国立大学に組織の改革・再編の加速化をうながしていた。何のための改革なのか。目的の一つには、イノベーションの創出が、二つには、教育・研究の国際化の推進が、そして三つには、日本の大学の世界ランキングを上げること、以上の3つが挙げられていた。

2012年12月に安倍政権が発足して間もなく、産業競争力会議が設けられた。現時点で、内閣総理大臣他閣僚10名、経済人8名、学者2名から成る産業競争力会議の「新陳代謝・イノベーション」ワーキンググループ(WG)の議事録を一覧すると、橋本和仁東大工学研究科教授(当時)が座長を務めていたせいもあってのことか、もっぱら議論は国立大学改革に集中している。

文部科学省高等教育局法人支援課が提案する諸々の国立大学改革プランのことごとくが、上記WGでの議論を下敷きにしているかのように見受けられる。WGでの議論の要旨は、報告書『イノベーションの観点からの大学改革の基本的な考え方』

(2014年12月17日)に見ることができる。「国立大学を平成28年度からの第3期中期目標期間においては、①地域活性化・特定分野重点支援拠点(大学)、②特定分野重点支援拠点(大学)、③世界最高水準の教育研究重点支援拠点(大学)といった類型を踏まえた新たな枠組みを設けた上で、予算措置や評価を、それぞれの固有の機能や役割を最大化する観点からきめ細かく行い、大学としての機能強化を図る」とある。国立大学86校のうち55校が類型①を、15校が類型②を、そして16校が類型③を選択した。その他、国立大学教員の年俸制やクロスアボイントメント制(2つの国立大学・国立研究開発法

人が給与の支払い額を按分する制度)の導入についても、当該WGでの提案がその拠り所とされている。

要するに、近年、低落の気味にある日本の産業の国際競争力を高める(経済成長に寄与する)ために必要不可欠な「産業の新陳代謝とイノベーション」を加速するには、イノベーションの担い手を育成する大学、とりわけ国立大学の改革が、まずもって優先されなければならないとのことだ。国立大学の改革の必要性について否定するつもりはさらさらない。問題とすべきなのは、改革の中身である。大学を3つの類型に分けて、予算を傾斜配分することが、類型③に所属する16大学の研究力向上をただちにもたらすとは、少なくとも私には思えない。

一言で言い表せば、共通一次試験(センター試験の前身)の導入、大学院重点化、一般教養教育の規制緩和、専門職大学院の設置など、1990年代に始まった日本の大学の制度改革のことごとくが失敗であったことが、意図に反する結果として、日本の産業の国際競争力を低迷させたのだ、と私は考える。

### 2. 理系重視・文系軽視は日本の伝統

日本では、狭義の「有用性」の尺度により、学術・科学の価値を測るという悪しき慣行が、今もって断ち切られていない。この国では、今も昔も、理系の学問は「有用」、文系の学問は「無用」との通念が広く共有されている。その証拠となる事例を、過去の歴史の中から、いくつか拾いだしてみよう。

もともと兵役法(1927年4月1日公布)の規定により、高等教育機関(旧制高校、大学、専門学校、高等師範学校)に在学中の26歳以下の学生には、徴兵が猶予されていた。第2次大戦中の1943年9月、前年以來の戦線拡大と戦局悪化に伴う戦死者増加により、兵力不足が顕著となり、文系(農学部農業経済学科を含む)の学生に限って、徴兵猶予を解除するとの決定がなされた。同年10月21日には、さっそく第1回目の学徒出陣が始まった。文系の大学生や旧制高校の文系学生らは「無用」の学徒だから、徴兵して戦地に送り込み、仮に戦死するにせよ、国益はいっさい損なわれない。他方、理系の大学生や旧制高校の理系学生は、兵器開発などに貢献する

知識・技能の持ち主であり、戦争を継続するに当たっての「有用」な学徒だから、戦地に送り出す代わりに、陸海軍の研究所などに勤労動員する方が国益にかなう。

### 3. 理工系万能の時代＝1960年代

1960年3月、岸信介内閣の松田竹千代文部大臣は「国立大学の法文系学部を全廃し、国立大学を理工系一本槍とし、法文系の教育は私学に委ねるべし」との見解を吐露して、物議をかもした。この文部大臣発言の背景には、次の二つの事実がある、一つは、ちょうどその頃、日米安全保障条約の改定に反対する学生運動が最高潮に達しており、安保闘争のデモを率いる大学生の多くが国立大学の法文系学部の学生だったこと。もう一つは、高度成長期が1958年7月に始まっており、国立大学の理工系学部の振興が産業界から強く要請されていたこと。

池田内閣が発足して間もない1960年12月に閣議決定された『所得倍増計画』には、「経済成長のために科学技術の振興が不可欠であり、大学理工系学部の学生定員を17万人増やす」ことが謳われていた。

「もはや戦後ではない」との名台詞と、執筆を担当した経済企画庁調査課長の後藤誉之助(1916-60)の達意の名文で、歴史にその名を残す1956年度『経済白書』が、理工系重視の文教政策の先鞭をつけたと言っても過言ではあるまい。「もはや戦後ではない」という文言に、後藤は次のような深い意味合いをはらませた。1955年、日本経済は戦前(1937年の)水準を回復した。戦後10年間、「戦後復興」というバネ仕掛けで発展を遂げてきた日本経済は、戦後復興を成し遂げた今、さらなる発展と成長のための新しいバネ仕掛けを装填しなければならない。新しいバネ仕掛けとして、後藤は「技術革新」(innovation)と「近代化」(transformation)の二つを提案した。

後藤の造語である「技術革新」という言葉は、「追いつき追い越せ」をモットーとしていた時代をかたどるにふさわしい、時宜にかなった四文字熟語であった。技術革新の担い手は、理工系学部・大学院の卒業生である。以来、数年間、理工系学部・学科の新增設ラッシュが続いた。かつて私が37年間勤務した京都大学は、文学部や理学部が幅を利かせる「虚学の殿堂」のように思われがちである。ところが、1950年代後半から60年代にかけて、京大工学部の新学科増設・定員増ラッシュには目を見張るも

のがあり、新入生の3人に1人が工学部生という、いびつな形になったまま、今日に至っている。ちなみに、後藤誉之助もまた東京帝国大学電気工学科出身の官庁エコノミストだった。

### 4. 理工系出身者が幅を利かせる全体主義国家

ソニーの創業者であり、早稲田大学理工学部出身の井深大(1908-97)氏は「企業経営者はもとより、政府省庁の幹部職員、国会議員の大半を理工系学部出身者が占めるようになるだろう」と豪語してはばかりなかった。幸か不幸か、日本では、井深氏の予測は当たらなかった。今もって、政府省庁の幹部職員の大半が、製造業各社の経営者の約半数が、そして国会議員の大半が文系学部の出身者である。

なぜそうなのか。理由は簡単である。日本は曲がりなりにも民主主義国家だからである。文系学部の出身者には、理系学部の出身者に比べて、文系の学識を活かしての旺盛な批判精神の持ち主が多い。同時に、表現力においても相対的に優れている。民主主義を建て前とする会議などの場で物を言うのは、旺盛な批判精神と巧みな表現力にほかならない。

皮肉なことに、井深氏の予言が的中したのは、旧ソ連や中国など全体主義国家においてのことだった。ウラジーミル・レーニン(1870-1924)とヨシフ・スターリン(1878-1953)以降の旧ソ連最高指導者は、代々、工業学校卒か工場労働者出身だった。旧ソ連最後の最高指導者ミハイル・ゴルバチョフ(1931-)は、モスクワ大学法学部出身という異色の経歴の持ち主だった。ゴルバチョフは、ソ連の最高指導者として「異色」であったがために、旧ソ連解体の立役者を演じることができたのではなかつたろうか。

中国でも、江沢民(1993-2003在任期間、以下同様)、胡錦濤(2003-13)、習近平(2013-)と3代続きで、名門理工系大学出身者が国家主席の座に就いている。首相もまた、李鵬(1987-98)、朱鎔基(1998-2003)、温家宝(2003-13)と名門理工系大学卒が3代続いたあと、北京大学法学部出身で経済学博士号を持つ李克強(2013-)が首相に就任した。全体主義国家では、体制批判の言動は許されないため、人社系の学部卒業生は、共産党内での出世の階梯を登り詰めることなく、途中で、時の権力者の顰蹙を買ひ肅清の憂き目に遭うのである。

こうした経緯を見るにつけ、私は、次のようなテーマを定立するに至った。「全体主義国家は必ずや

人社系知を排斥する。人社系知を軽視する国家はおのずから全体主義国家に成り果てる」。話が多少飛躍して恐縮だが、ついでに言っておきたいことがある。2014 年の安保関連法案の国会での審議中、改憲派か護憲派かを問わず、大部分の憲法学者が「安保関連法案は現行憲法のもとでは違憲である」と主張したにもかかわらず、政権は、聴く耳を持たずに、法案を衆参両院での強行採決に持ち込んだ。

ことほど左様に、この国では、憲法学者の見解を無視してはばからない政治が、国民の非難を浴びることなく、公然とまかり通るのである。これは「人社系知の軽視」の典型例であり、私のテーゼに従えば、わが国は全体主義国家への歩みを着々と進めつつある。実際、自民党の憲法改正草案(2012 年 2 月)を見ると、表現の自由、基本的人権を尊重すると言いつつ、「公益・公共的秩序に反する場合は、その限りにあらず」と但し書きされている。また、「国民は個人として尊重される」とあるのは、個人主義の蔓延を招きかねないからよくないとして、「人として尊重される」と改められる。

西欧近代の思想である自由主義、民主主義、個人主義を普遍的かつ不可侵な価値だと考える私にとって、仮に草案の主旨を汲んだ憲法改正が安倍政権により強行されるとすれば、「先進 7 カ国は価値観を共有する」との命題は正当性を失うことになるだろう。

## 5. STEM から STEAM へ

2015 年 8 月 23 日付けの「ジャパンタイムズ」に私は、6.8 文科大臣通知を時代錯誤的であると批判する論評 “Humanities under attack” を寄稿した。日本が特有する有用性本位の学術・科学の評価の在り方を私は批判したのだが、アメリカのバージニア大学のトーマス・カツウリアス (Thomas Katsouleas) 副学長から、次のような内容のメールが届いた。念のために付け足せば、カツウリアス副学長は、大学行政の面でも高い評価を得ている、電子工学の権威である。

安倍内閣の文部科学大臣は、日本の国立大学長に対し「人文社会系学部・大学院を廃止、または社会的要請のより高い分野への転換を図るべきである」と通知したこと。通知のねらいは、日本の産業の国際競争力を高めることだそうですが、こうした措置は逆効果を生みかね

ません。STEM (科学・技術・工学・数学の英語の頭文字を並べたもの) 分野のリーダーたちの間で、最近、STEM 分野で成果を挙げるには、人文社会科学が決定的に重要であるとの認識が急速に高まりつつあります。一例を挙げますと、最近、全米の 122 大学の工学研究科長が連名で、次のような要望書をオバマ大統領に提出しました。

「喫緊を要する社会的課題を克服するに足るだけの技能と思考力を、次の世代のエンジニアたちに身に付けさせるようにしてもらいたい。たとえば、太陽光発電の採算確保、人工知能の実用化、サイバー攻撃の防御などを可能とするには、工学のみでは手に負えないのです。人間行動学、政策科学、経済学など人社系の学者や実務家との相互理解に基づく協力を、私たち強く望んでおります」。

今年(2015 年)9 月、オーストラリアのアデレーデで開催された工学研究科長国際会議においても、同様の趣旨の声明に参加者全員が署名いたしました。提言の一つは次の通りであります。「人間行動、政策、文化を理解する広範な能力、すなわち人文知と社会科学知を備えた学生を育てるために、学際的かつグローバルな知見の学修をエンジニア教育に取り入れるべきである」。

日本以外の国々が STEM から STEAM (STEM に人文科学を意味する arts を加えたもの) へと転換を図りつつある昨今、日本の大学のみが世界の趨勢に反する方向へと高等教育の舵を切ろうとするのは、誤った政策だと言わざるを得ません。

次のような悪しき前例から学んで欲しいのです。2011 年に開催された上海サミット「経済革新のための教育」の開会式の挨拶の中で、中国の科学技術大臣（当時）が次のように述べました。「中国の大学は、毎年、7 万 5 千人の即戦力のエンジニアを養成しているのだが、その多くが就職に苦労する。なぜかというと、多国籍企業の人事担当者の目から見れば、中国のエンジニア教育の在り方が不適切とみなされるからであります」。

## 6. 技術進歩の座標軸の変遷

カツウリアス副学長のメールをありがたく受け取った私は、そこから次の 2 つのことを読みとった。

第一に、理系万能・文系軽視の学術・科学観は、先進国の中では、どうやら日本が特有するものらしい。古来、ヨーロッパでは、歴史、哲学、文学などに重きが置かれ、大学で人文学（特に歴史学）を専攻した官僚や政治家が少なくない。プラグマティズムの伝統の根強いアメリカでは、法科大学院卒の弁護士が政界を牛耳っているようだし、経営学修士（MBA）やエコノミストの社会的地位もまた高い。人文学を専攻する大学生・大学院生は相対的に少数ではあるが、文学、哲学、言語学、社会学、政治学などの分野で優れた業績を誇る研究者は少なくない。

マサチューセッツ工科大学（MIT）は工学の単科大学と誤解されがちだが、人文社会系の学科を盛りだくさん抱えている。カツウリアス副学長の言うとおり、人文知や社会知に富むエンジニアを養成する体制を MIT は伝統的に整えていると見てよい。

第二に、20世紀末に、技術進歩の座標軸が大きく変容したこと。20世紀の60年代までの技術進歩は、「より速く」「より大きく」「より強く」「より高く」を目指していた。ところが、1973年のオイルショック以降、そして1997年の第3回国連気候変動枠組条約締約国会議で「京都議定書」が採択されて以降、技術進歩のベクトルの方向に次のような有意な変化が生じた。「より資源節約的な」「温室効果ガス排出量のより少ない」「より軽く・小さく・薄く」「より多機能な」「よりスマートな」「より安全な」「社会とより調和的な」等々へと。その結果、工学の知識しか持ち合わさない（美的センス・人文知・社会知を欠く）エンジニアが、画期的な技術革新の担い手となり得る可能性は乏しくなった。一言で要約すれば、モダニズムからポストモダニズムへの変容である。

## 7. 人社知を欠く日本のエンジニア

2011年3月 iPad2 の発表会で、スティーブ・ジョブズは次のようなメッセージでスピーチを締めくくった。「アイパッド2のような心を高鳴らせる機器を開発するには、テクノロジーだけではダメなんだよ。リベラルアーツ、なかんずく人文知（humanities）と融合したテクノロジーが必要なのだよ」と。ロンドン・エコノミストの記者はジョブズのメッセージを評して言う。「技術一本槍の企業の社長の言葉としては異例と言わざるをえないけれども、さすがスティーブ・ジョブズならではの名

言だ」と（ロンドン・エコノミスト 2012年6月5日号）。

日本のエンジニアの多くが技術至上主義者であり、人文社会知を欠いているのが、日本の電子機器メーカーが衰退しつつある理由の一つではあるまいか。1979年に共通一次試験が導入されて以降、日本の国立大学（東大と京大を除く）の工学部の個別入試の必須科目から、国語や社会が除かれるようになった。1991年度から、大学設置基準の細かい規定が撤廃され、大枠のみとする「大綱化」が実施されたため、一般教養課程は廃止され、教養教育カリキュラムは大学の自主性に委ねられるようになった。そのため、大学入学後、大部分の工学部生は人社系教養科目の学修を避けて通れるようになった。

2013年1月8日付けの日本経済再生本部決定の「産業競争力会議の開催について」には「日本経済再生本部の下、我が国産業の競争力強化や国際展開に向けた成長戦略の具現化と推進について調査審議するため、産業競争力会議を開催する」と記されている。2016年5月9日現在、会議の構成員は、安倍首相をはじめとする10名の閣僚、8名の企業経営者、2名の大学教授である。8名の経営者が民間議員として加わっているが、三村明夫新日鉄住金名誉会長兼日本商工会議所会頭と小林喜光三菱ケミカルホールディングス会長兼経済同友会代表幹事のお二方以外の経済界からの議員は、財界本流とは距離を置く、IT関連やコンサルティング会社の創業者のお歴々である。学者2名のうち一人は橋本和仁東大工学研究科教授、もう一人は竹中平蔵東洋大学教授である。

こうした面々から構成される産業競争力会議が、人文社会系学部・大学院は経済成長・産業競争力強化に寄与するところは無きに等しい、したがって、それらの廃止・転換を図ることが急務だと考えるのは、まことに宜なるかなとうなづける。

人文社会系学部・大学院が少なくとも直接的には経済成長に寄与しないことを、私自身、認めるにやぶさかでない。しかし、「人文社会知を排斥する国は必ず全体主義国家となる」との私見を交えれば、次のような問い合わせが発せられる。「あなたは『経済成長のない社会』と『民主主義のない社会』のいずれに住みたくないですか」。この問い合わせに対する私の答えは次のとおり。「たとえ経済成長がなくとも、民主主義のない社会には住みたくないかもしれません」。読者

の大半が私と同じ意見の持ち主だと推察するが、産業競争力会議のメンバーの多くは、こうした設問に

たどり着くこと自体が想定外にほかなるまい。

### 3. 市場経済の限界

一方井 誠治

#### 1. 市場経済と豊かさとの乖離

私たちは、現在、市場経済の真っただ中にいるため、これが当たりまえのことと思いがちである。しかしながら、歴史を振り返ると、市場経済が人類社会のなかで定着しこれほどまで発展してきたのは、それほど古いことではない。

江戸時代は農業が基本の社会であり、農業に従事する人々の割合が圧倒的に多かった。それは、江戸時代は鎖国政策のもと、限られた農地面積で食料を自給しなければならなかつたこと、同時に、化石燃料や蒸気機関などもなく、手間のかかる農作物の育成のほぼすべてを人力と牛や馬などの畜力にたよらなければならなかつたからでもある。

もとより、江戸時代でも、藩ごとの特産物があり、手工業もさかんで、そこから生み出される各種の産物は、貨幣を通じて各地に流通していたが、農業を営む地域では食料はほぼ自分たちで自給しており、また、都市部に住む庶民の間でも、自分たちで作れるものはかなりのものを自分たちで作ったり、修理をしていたりした。

そのような社会の仕組みが次第に自給から分業に進み、それが一層進んだのは、やはり、第二次世界大戦後の高度経済成長期以降であり、さらに、高度な工業製品などが一般家庭にもあふれるようになって以降ではないだろうか。

その背景には、一方で個人の所得が急速に増加し、市場での購買能力が増加したことがある。また、市場で販売されるそれぞれの製品やサービスが高度化して、簡単には素人が作れるようなものではなくなってきたこと、また、大量生産や技術の進歩等で以前は相対的に高かったものが安く手にはいるようになってきたことも挙げられよう。昭和30年代から各家庭に一挙に普及した自家用車をはじめ、テレビ、冷蔵庫、洗濯機の三種の神器はその典型例である。

そのような時代を実体験した世代としては、市場からのそのような品物の購入は間違いなく豊かさを実感させるものであり、市場経済の発展は個人の豊かさの実感や幸福感とも結びついていたと言える。いわば、市場経済を発展させることこそが、個人の豊かさや幸福を増進させることであるとの社

会的な共通認識が確立していったのである。

ところが、そのような戦後の急速な市場経済の発展が一段落した1990年代はじめ、いわゆるバブルが崩壊したあたりから、従来のように市場からモノを買うことにより、それが必ずしも直接豊かさの実感や幸福感の向上というものに結びつかなくなってくるという状況が生じてきた。

その理由のひとつに、人間の生存のための基本的な欲求が満たされたあの豊かさや満足感には、社会における他者との関係が重要な影響をもたらすことがある。そのため、どんなに市場からモノやサービスを購入しても、それ以上に多くのまた、高価なものを購入している他者を意識すると、豊かさや幸福感を感じられず、それゆえに、もっと稼いで、もっと消費しなければという意識になってしまったのが現代の状況ではないだろうか。そのため、時として、それは過労死というような、豊さや幸福を求める立場からはあってはならないような悲劇も生み出している。また、限りない生産と消費の拡大は、資源の浪費と環境の悪化をもたらしているという面がある。

一方、人が豊かさを感じるのは決して市場からモノを買うときだけではない。私自身の実感から言えば、例えば、市場で売っているわけではない周囲の木々の緑や目に触れる鳥や虫などの野生動物、美しい星空といったものからも得られるものが、確かに存在する。また、モノを購入するのではなく自身で何かを作ったり、他者との交流をすることにより感じる豊かさや幸福もある。さらには、地球環境と人類の未来というような将来に対する希望や不安というようなものも、市場からは直接買えない豊かさや幸福感につながっている。

その意味で、現代は、市場から何かを購入することで得られる豊かさや幸福感が得られにくい状況になってきていることに加え、もともと市場からは直接得られない幸福感が、地球環境や地域環境の悪化などにより減じてきているという二重の問題が生じてきているように思われる。したがって、市場経済を発展させていきさえすれば人間は豊かで幸福になれるという、かつてあった社会の共通認識は、今日、大きく揺らぎつつあるように感じられる。

## 2. 市場資本主義と経済成長が決める社会のかたち

イスラエルの歴史学者ユベル・ノア・ハラリが2016年に出版した「SAPIENCE-A Brief History of Humankind」（邦訳 サピエンス全史）では、現代の貨幣経済に基づく信用制度と新たな価値を生み出す新技術の開発が、グローバルな経済成長につながっていると述べている。そして、そのような経済成長を確実なものとするためには、政府ができるだけ手を出さない方が最善だとする自由市場至上主義が、現在の資本主義の信条のなかで最も一般的で影響力があるとしている。

しかしながら、歴史を振り返ると、近代初期のヨーロッパ資本主義は、なんの抑制も受けない市場原理が社会を支配していた結果として、大西洋奴隸貿易が盛んになったという悲惨な事実があったとハラリは述べる。そのような資本主義の倫理観を欠いた行動は19世紀になっても改善しなかったが、20世紀に入り、特に第二次世界大戦後の1945年以降は、共産主義への恐怖などにより、資本主義者の強欲ぶりには多少歯止めがかかったという。ただし、「経済のパイは、1500年のものよりはるかに大きいが、その分配はあまりに不公平で、アフリカの農民やインドネシアの労働者が一日身を粉にして働いても、手にする食料は500年前の祖先よりも少ない」という。そのため、「人類とグローバル経済は発展し続けるだろうが、さらに多くの人々が飢えと貧困に喘ぎながら生きていくことになるかもしれない」とハラリは述べている。

一方で、ハラリは、少なくとも平均寿命、小児死亡率、カロリー摂取量といった純粋に物質的・身体的な物差しで測れば、2014年の平均的な人間の生活水準は、人口が飛躍的に増えたのにもかかわらず、1914年よりも格段に改善したと指摘している。しかしながら、先に述べたように、その果実を享受しているはずの国々でも豊かさや幸福を実感できない状況が生まれている。私たちはいったいどうすればいいのだろうか。

## 3. 社会的共通資本の考えに基づく社会の形成

これまでの歴史を振り返ると、市場経済の発展は、確かに私たちの福祉を向上させてきたという面がある。一般的な生活水準が上がり、栄養状態もよくなり、平均寿命などが上がってきたことなどはその証左だろう。しかしながら、このまま、社会の形成の多くを今後とも市場経済に任せておいてよいの

だろうか。

現代は、経済の効率性を高めるという観点から多くの活動が私企業に委ねられている。日本でもそのような観点から、かつて国が直接管理運営し、大きな赤字を抱えていた鉄道事業を分割民営化し、原則独立採算制の事業とした。その効果はめざましく、採算のとれる事業会社ではサービスは向上し、利便性も向上した。しかしその一方で、採算のとれないJR北海道など、地方の鉄道会社では利用者の減と利便性の低下の悪循環が生じ、不採算路線を廃止せざるを得ない状況にまで立ち至っている。他方でJR東海など、年間5000億円の利益をあげ、それをよりエネルギー効率の悪い、今後の持続可能性向上の観点からは問題の多いリニア鉄道に投資しようとする会社もあらわれている。そのような状況のなかで、日本の基幹交通を担う公共交通としての鉄道を、私企業としての経営に委ねてしまつて果たして良いかという議論がある。

そのことは、例えば日本の重要な自然資本のひとつである森林についても言える。日本の森林經營は戦後の高度経済成長期以降の外国からの安い木材の輸入と、それに伴う国産材の価格低迷などから、木材の生産という観点からは、手入れもいきとどかない放置林となっているところが多い。これも、社会的に重要な自然資本を市場経済に委ねていた結果であるとも言える。さらに、日本の国土における環境維持機能をも担ってきた水田の行方を、やはり自由貿易という市場経済に任せてしまってよいのかという議論もある。

もとより、市場経済には、効率性を不斷に追求する機能など、すぐれた面もあることは、事実であるが、先に見た格差や平等の問題や環境問題など市場経済では解決し得ない課題も多い。そのため、どの時代においても人々が共通に必要とする基本的な社会資本については、すべてを私企業に委ねるのではなく「社会的共通資本」として、合意された範囲で人々が協働管理をする、いわば、政府でもない、私企業でもない、いわゆる協働型コモンズという形態での管理をするということも今後検討する必要があるのではないだろうか。

ちなみに、ドイツでは地域の再生エネルギーにかかる共同組合が多く設立されており、いわば協働型コモンズ的な管理が実際に行われつつある。

#### 4. 個人から始める真の豊かさの構築

市場経済をめぐる多くの問題点をこれまで見てきたが、それを解決していくのは、そう簡単ではなさそうである。特に、個人ではできることは限られているのではないだろうか。

その点について、コロンビア大学のジュリエット・ショア教授は、その著「Plenitude」（邦訳 新しい＜豊かさ＞の経済学）で、次のように述べる。少々長くなるがポイント部分を引用する。

「現代は、気候変動問題をはじめとする環境の危機の時代であるが、同時に、リーマンショックに見られるような経済の不安定性や格差問題に見られるような経済の危機の時代でもある。（中略）近年提示されてきた多くのサステイナビリティ構想は、環境保全技術を前提としているが、それだけでは不十分であり、エネルギー・システムを含む多くの社会経済システムの構造をトータルに変革し、労働や消費や日常生活などに従来とは異なるリズムを取り入れることなしには、環境の悪化を食い止め、経済的健全性を取り戻すことはできない。（中略）ただし、大規模な転換を成功させるには、つねに集団的合意が必要となる。私達は、二酸化炭素削減メカニズムを必要としており、新たな労働市場政策を必要としている。（中略）しかし、これらの変革に取り組む間にも、その移行期に私たちに出来ることがある。それは以下の4つの＜豊かさ＞の基本原理に基づく行動である。第一の原理は、新たな時間の配分である。私達は長時間、市場で働き所得を得て、市場から消費財を獲得しているが、この市場依存度を低めることである。第二の原理は、市場から抜け出し、「自給」、すなわち自分のために何かを作ったり、育てたり、行ったりすることである。第三の原理は、「真の物質主義」であり、流行やステータス志向ではない、生活において物質が持つ本来の機能と環境影響を意識し、生活することである。第四の原理は、お互いの同士と私たちのコミュニティーへの投資、いわゆる社会関係資本を回復させることである。」

第一原則の、市場依存度を減らす、という発想は何か突拍子もないものと受け取る人もいるかと思うが、長い人類の歴史全体からみれば、先に見たように、いわゆる市場経済が成立し、分業がこれほど発達し、働いて得た所得で、生活に必要なほぼすべ

ての物やサービスを購入するというライフスタイルはごく近年のものに過ぎない。しかも、多くのエネルギー・物質の生産・消費が可能となった現代では、本来、＜豊かさ＞を獲得する「手段」であったはずの所得や消費が、それらのものをより多く得るということ自体が「目的」となってしまい、異常な長時間労働やブラックバイトなどで心身を壊す人が出てきている。しかしながら、単純に市場依存度を減らすと、所得が減り、さらに貧しくなるのではという懸念がでてくるのではないだろうか。それに対するショアの答えが、第二原理以下の考え方である。

すなわち、現代の「自給」には、「それをしようとすると、時間もコストもかかってしまう、市場から買ってくるほうが楽だし安い」という従来の常識を変える動きがあると彼女は言う。

それが、技術の進展やインターネットの普及などである。例えば、3Dプリンターの出現と情報のオープンソース化により、それまでは、高価な機械や設計・製作情報がなければ素人では到底作れなかつたようなものが、3Dプリンターと無料の情報によって、従来より格段に安く作ることが可能になってきているのである。

もとより、現在、巷にあふれている品物と全く同じものを前提とすると、作るのが難しい場合も考えられる。しかし、第三の原理である「真の物質主義」を前提とすると、機能的には十分満足できる品物を作ることが可能になるのではないかと思われる。

私自身、昨年の春、自宅の庭に小さな庭小屋を建てるという経験をした。ただし、一から材料を調達して作ったのではなく、東北にある小さな会社が国産材の杉を使って開発した、パネル組み立て式の物置小屋のキットを購入し、自分で組み立てるとともに内装を自作したのである。組み立てと屋根葺き自体は娘の助力を得て休日を使った丸二日の作業で出来たが、内装や家具の製作にその後2ヶ月余を要した。その間、週末ごとの作業は、私にとって豊かでチャレンジングな経験であり、とても幸せな時間であった。今では、ここで読書をするのが私の一番の楽しみとなっている。価格もリーズナブルであり、完全な自給ではないものの、ショアの提唱する「自給」が今後広がる可能性を実感した。



## 文献

- 
- 1) ユヴァル・ノア・ハラリ、「サピエンス全史」  
上下、芝田裕之訳、河出書房新社、2017年
  - 2) ジュリエット・ショア、「プレニチュード」、森  
岡孝二訳、岩波新書、2011年

## 4. 人工知能と雇用

佐和 隆光

### 1. 産業革命の功罪

今、半世紀に1度くらいの割でしか起こらない大変革が、深く静かに進行しつつある。その変革のことをインダストリー4.0、もしくは第4次産業革命と呼ぶ。

19世紀初めの第1次産業革命を駆動したのは、1769年にジェームス・ワットが発明した高効率蒸気機関だった。蒸気機関の燃料である石炭を採掘する炭鉱では、馬が動力として用いられていた。皮肉なことに、馬に代わる動力源として、炭鉱に蒸気機関が導入されたのが普及の始まりとなった。その後、1800年前後には、蒸気船、蒸気機関車（鉄道）などの交通機関、紡績機などに蒸気機関が用いられるようになった。各種交通機関や紡績機は、人間や馬の労働を代替し、生産性の著しい向上をもたらした。

20世紀初頭の第2次産業革命を駆動したのは、石油と電力という二つの動力源の普及だった。20世紀は「イノベーションの世紀」だったと言われるが、相次いで登場した新製品のことごとくが、石油製品か電力を動力源として用いている。

第3次産業革命を駆動したのはコンピュータである。当初、コンピュータ日本語訳は電子計算機だった。しかし、パーソナル・コンピュータの用途に占める計算の割合は無きに等しくなり、電子計算機という言葉はほとんど死語同然と化した。コンピュータの中国語訳である電腦は、今日のコンピュータの在りようを予見する、正鶴を射た訳語だった。いわゆるデジタル革命が起きたのは、20世紀の最後のディケードに入ってからのことだった。デジタル革命のおかげで、私たちの生活の利便性と快適性は飛躍的に向上した。スマートフォン1台があれば、無料でメールを送受信できるし、ネット・ショッピングは自由自在、ニュースも無料で閲覧できる。大部の百科事典や国語辞典、英和・和英辞典は、無用の長物と成り果てた。過去四半世紀の医療の進歩には目覚しいものがあったが、そのほとんどの生みの親はデジタル技術だったと言っても過言ではあるまい。

さて、現在進行中の第4次産業革命を駆動しているのは人工知能（AI）である。AIの威力を見せつ

けられたのは、2016年3月、グーグルの子会社が開発した「アルファ碁」という名のAI棋士が、世界最強のプロ棋士と対戦し4勝1敗で圧勝した事例である。最初に3連敗したプロ棋士は4局目に一矢を報いたが、続く5局目には敗れた。アルファ碁の勝利の決め手となったのは、いわゆる「深層学習」（ディープ・ラーニング）の能力である。対局を繰り返すことにより、アルファ碁は深層学習によりますます強くなるのである。

AIとロボットを最大限駆使して、工場を無人化しようというのが、第4次産業革命の狙いとするところである。第1次から3次までの産業革命は、次のような罪をもたらした。地球温暖化、大気汚染、海洋汚染、河川の汚濁、生物多様性の縮減、個人情報の漏洩、ハッキング等々。

こうした罪の面を見過ごすわけにはゆかないが、苦役としての肉体労働からの人間の解放、生活の利便性・快適性の著しい向上という功は、罪を補って余りあるほど大きかった。しかし、第4次産業革命は、経済の根幹を搖るがす、次のような前代未聞の難問を、私たちに突きつけるのである。

### 2. 工場の無人化による労働分配率の低下

製造業は、資本と労働を生産要素とし、原材料を加工してモノを生産する。加工する際に、電力をはじめとするエネルギーを必要とする。付加価値（製品の売上高から原燃料費を差し引いたもの）は資本と労働に分配される。労働者には、それぞれの働きに応じて賃金として分配され、資本に分配される付加価値は、株主への配当、役員報酬、銀行からの融資の返済・利払いに充てられる。付加価値は個人または法人の所得となるのだが、雇用者所得には累進課税を、法人所得、利子配当所得には定率の課税を施して、政府は公共サービスのための財源を確保する。

工場が無人化されると、どうなるのだろうか。工場にはまったく人がいなくなる。制御室に数人、事務職員が数十人、研究開発を担う技術者が数十人、それと役員十数人がいるだけになる。資本（工場と設備）と100人から200人の雇用者だけで大量生産が可能となる。現在、労働分配率は70%近傍で推

移している。第4次産業革命の進展に伴い、工場・事務所で働く人の数は減り、人工知能とロボットが人間の労働を代替するようになる。その結果、当然にことながら、付加価値の労働分配率は減少し、10%前後にまで下がると見てよい。言い換えれば、資本分配率が90%前後にまで上昇するだろう。

### 3. 労働力人口の半数が失業する

高級ホテル、高級レストラン・バーなど、ホスピタリティ（心のこもった手厚いもてなし）を売り物にするサービス産業は、人間をAIやロボットで置き換えることはできそうにない。学校の教員、学者、介護、医療、法務、公務、金融などの職業は全くなくなることはあり得ないけれども、後ほど医療に関して例示するとおり、AIやロボットの支援を受けるを得なくなるだろう。

言語によるコミュニケーションもまた、AIにとって不得手な営みの一つである。レストランでの食事の注文など、定型化されたコミュニケーションはAIに任せておけばよい。しかし、熟練した料理人をAIが代替できそうにはない。和食の献立作りと盛り付けはもとより、客の好みに合わせてのステーキの焼き加減を調整するのも、人間にしかできそうにない。

組織のマネジメント能力もまた、AIが人知に及ばない能力の一つである。

第4次産業革命により、人間は労働という苦役から、ついに解放されるのだ。ここで言う労働とは、汗水垂らしての肉体労働のみならず、机に座っての事務労働・頭脳労働をも含む。労働から解放されるということは、多くの人にとって、働きたくても働く場所が与えられないことを意味する。

実際、野村総合研究所とオックスフォード大学のマイケル・オズボーン准教授の共同研究「日本の労働力人口の49%が人工知能やロボット等で代替可能に～601種の職業ごとにコンピュータ技術による代替確率を試算～」によると、事務職のほとんどが「代替可能」の方に分類されている。労働力人口のほぼ半数が、働きたくても働く場所がない。どうすればいいのか。しばしば提案されるのは、国民生活の最低限の収入（ベーシック・インカム）を国が保証するという措置の導入である。言い換えれば、約半数の世帯を生活保護世帯にせよというわけだ。今日、働くことは必ずしも苦役ではなく、働くことに喜びと生きがいを感じる人が少なくない。そこで

私は、次のような提案をしたい。

### 4. 第4次産業革命と雇用

付加価値の90%が、利子・配当所得、法人所得、役員報酬として分配されると仮定しよう。言い換えれば、雇用者所得に分配されるのは、付加価値の10%に過ぎなくなる。付加価値が同額ならば、労働分配率の低下は税収総額を大幅に押し上げることとなるはずだ。雇用者所得の平均税率は4%前後である。利子配当所得税率は20%、法人所得税率は23%強である。付加価値の分配率の変化により、政府の税収は約2.7倍となる。ベーシック・インカムを配布する財源は、ひとまず確保されることになる。しかし、約半数の世帯がベーシック・インカムの受給者という社会には、誰も住みたくないだろう。

そこで、次のような措置を提案したい。これまでには、行政改革の名の下に、公共サービスに従事する人の数を極力減らしてきた。働く場所を失った人びとに対して、公共サービスの仕事を国が提供して、賃金を支払うのが、最も穩当な解決策ではなかろうか。

小中高校の教員は公立と私立を合わせて89万人、国公私立大学の教員数は18万人だが、それらを倍増すれば、100万人余りの雇用が創出される。介護士、保育士、看護師も倍増すればよい。研究に従事する大学院生には、奨学金を大盤振る舞いすればよい。その他諸々の公共サービスの雇用機会を増やして、働きたくても働く場をなくした人びとに、働く場を提供するしかない。加えて、教育、医療、介護、その他の公共サービスへのアクセスを無償化する。

行政改革が第一義としたのは、公務員の人数の削減だった。小中高校の教員数、国公立大学の教員数は今もって漸減傾向にある。公務員削減が何ゆえ必要だったのか。言うまでもなく、国の財政再建（財政赤字の縮減）のためである。しかし、第4次産業革命のおかげで大幅な税収増が図られ、豊富な財源を有する政府には公務員を増やす余地が生まれる。工場の無人化により、働く場を失った人びとを公務員に採用し、公共サービスの充実に貢献してもらうことは、単なる失業対策にはとどまらず、教育サービスの質の向上、研究の振興、社会的弱者の安全・安心など、この国を住みよい国にする。

安価な労働力を求めて工場を海外移転させる必

要はもはやなくなる。工場の無人化に要する設備投資は莫大だろうけれども、生産数量が増えれば、製品一個当たりの固定費は漸減する。さほど遠くない将来、途上国での有人工場に勝るとも劣らぬ価格競争力を、無人工場が持つようになるのは確実と見てよい。

製品がよく売れるから、設備投資と雇用増により工場の生産能力を上げたところ、製品の普及にともない需要が漸減し、たまたま在庫がはけるまで生産を抑制せざるを得なくなるという「在庫循環」、すなわち古典的な景気循環がなくなるのも、工場無人化のメリットの一つに数えられる。賢いAIにとって需要の先読みはいとも簡単だろうし、労働時間の短縮や臨時工の解雇といった厄介ごとも避けられるから、在庫循環を回避できるのだ。

製品の生産コスト(製品1個当たりの固定費と原燃料費の和)は、人件費がゼロになった分、間違なく下がる。生産現場以外で要するコスト、例えば、広告費、営業、財務、企画、総務、人事・労務など事務職の入件費はどうなるのか。まず、インターネットが広告媒体の主流となるから広告費は下がるだろう。事務作業のうちの多くをAIが代替するだろう。人事・労務は必要なくなるし、財務はAIの得意中の得意だし、総務や企画などの仕事も、会社の過去の書類のすべてを記憶し、政治や経済の現状を熟知したAIが、近未来予測をも踏まえて、リアルタイムで答えを出してくれるはずだ。その結果、事務職の大半が不要になる。

## 5. 医療・法務と人工知能

野村総研とオックスフォード大学の共同研究によると、医師は「代替不可能」な職種に分類されているのだが、それを覆すような出来事が起きた。2016年8月4日のNHKニュースによると、東大医科学研究所が、IBMの人工知能「ワトソン」に2000万件以上の医学論文と1700万件以上の薬剤関連の情報を学習させ、がん患者の遺伝子情報を与えて、がんの種類と治療薬の候補を推論させる臨床研究を始

めたそうだ。

抗がん剤治療の効果が認められなかった白血病患者の遺伝子情報をワトソンに入力したところ、わずか10分で、担当医が思いもよらなかつた特殊なタイプの白血病との診断が下され、抗がん剤の組み合わせの処方箋まで示してくれた。治療薬を変更した患者は、数ヶ月で快癒・退院したことだ。

AIは医師の診断と処方の精度を上げこそすれ、医師を不要とはしない。各種検査データ、遺伝子情報などをインプットしさえすれば、人間の医師を凌ぐ診断・処方ができるウルトラ医学博士のワトソンにとって、患者に問診するくらい朝飯前だろう。とはいえ、人間である患者にとって、ワトソン博士の問診に受け答えするのは、気色が悪いに違ひあるまい。人間である患者に問診できるのは、人間である医師以外には有り得ないと言っても過言ではあるまい。問診の際、患者の精神は極度の緊張状態にある。緊張を和らげつつ、患者に正直に受け答えしてもらえるのは、やはりワトソン博士ではなく、人間である医師でしかない。

手術支援ロボット「ダヴィンチ」もまた、泌尿器関連の外科手術に頻用されるようになった。ダヴィンチの務めは、あくまでも外科医の手術の支援であって、手術をするのは外科医である。ダヴィンチのおかげで、手術の精度は飛躍的に高まったとのことだ。

弁護士の仕事もAIによる代替される。六法と判例を丸暗記し、くだんの民事案件に関連する過去の判例と法律を検索し、依頼人の言い分を正当化する弁論を作文するワトソン弁護士の登場は間近いと見てよい。しかし、法廷で丁々発止の弁論を展開するのは、やはり人間の弁護士でなければなるまい。

AIとロボットが、工場、医療、法務などの現場を、劇的なまでに改変するのは必至である。人間がAIやロボットとどう上手く共存してゆくのかが問われているのだ。



## 研究会開催経過

---

### 第1回

日時：2016年4月29日（金）14：00～30日（土）15：00

場所：国際高等研究所

内容：趣旨説明と論点整理、報告（佐和・小西）と討論

### 第2回

日時：2016年7月27日（水）10：00～17：00

場所：国際高等研究所

内容：報告（倉阪・加藤）と討論、4基幹プログラム合同会議について

### 第3回

日時：2016年9月4日（日）10：00～17：00

場所：国際高等研究所

内容：報告（佐和・一方井）と討論

### 第4回

日時：2016年10月23日（日）10：00～16：00

場所：国際高等研究所

内容：報告（佐和・倉阪・佐々木）と討論

### 第5回

日時：2016年12月17日（土）10：00～17：00

場所：国際高等研究所

内容：報告（加藤・小西）と討論、4基幹プログラム合同会議について

### 第6回

日時：2017年1月22日（日）10：00～17：00

場所：国際高等研究所

内容：中間報告の内容・各自の論考について

### 第7回

日時：2017年3月20日（月）10：00～17：00

場所：一橋大学一橋講堂

内容：報告（高村）と討論、中間報告について

---

## 第8回

日時：2017年5月28日（日）13:00～17:00

場所：国際高等研究所

内容：最終報告に向けた今後の計画について

## 第9回

日時：2017年9月7日（木）13:00～17:00

場所：一橋大学一橋講堂

内容：講演「世界のエネルギー情勢：21世紀の展望」

鈴木達治郎氏（長崎大学核兵器廃絶研究センター長・教授）

最終報告に向けた討議

## 第10回

日時：2017年10月27日（金）13:30～10月28日（土）15:00

場所：一橋大学一橋講堂

内容：講演「神話としての人工知能」

西垣通氏（東京大学名誉教授、東京経済大学コミュニケーション学部教授）

講演「自動車の環境・エネルギー技術に関する将来展望」

大聖泰弘氏（早稲田大学研究院 次世代自動車研究機構特任研究教授）

最終報告に向けた討議

## 第11回

日時：2018年1月21日（日）13:30～1月22日（月）16:00

場所：学士会館

内容：講演「「超」高齢社会の持続可能性」

西村周三氏（(財)医療経済研究機構所長、京都大学名誉教授）

講演「インフラの老朽化」

根本祐二氏（東洋大学大学院経済学研究科教授）

最終報告に向けた討議

## 研究会メンバー

---

代表者

佐和 隆光 国際高等研究所研究参与、滋賀大学特別招聘教授

一方井 誠治 武藏野大学大学院環境学研究科長・教授

加藤 博和 名古屋大学大学院環境学研究科教授

倉阪 秀史 千葉大学大学院社会科学研究院教授

小西 哲之 京都大学エネルギー理工学研究所教授

佐々木 典士 ミニマリスト、作家、編集者

高村 ゆかり 名古屋大学大学院環境学研究科教授

※所属・役職は 2018 年 3 月 31 日現在のものです。

## 最終報告書

### 人類生存の持続可能性 ～2100年価値軸の創造～

---

2018年5月

公益財団法人国際高等研究所  
〒619-0225 京都府木津川市木津川台9丁目3番地  
TEL:0774-73-4001 FAX:0774-73-4005 E-mail:ra@iias.or.jp  
<http://www.iias.or.jp/>

---



公益財団法人  
国際高等研究所

〒619-0225 京都府木津川市木津川台9丁目3番地

TEL : 0774-73-4001 FAX : 0774-73-4005 <http://www.iias.or.jp/>