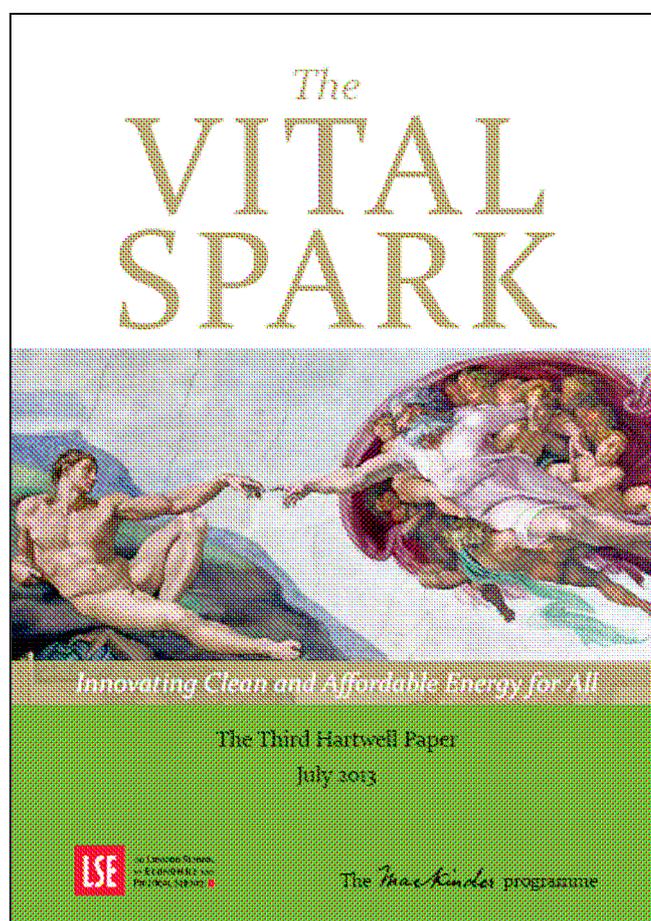


The
VITAL SPARK
(創造の閃き)

～全ての人のためのクリーンで安価なエネルギー技術革新～

第3次ハートウェル・ペーパー



2103年7月

ロンドン経済大学 (LSE)

マッキンダープログラム

目次

序文：これまでの経緯・・・	4
要旨	7
導入：定義、動機、および謝辞	9
1. ハートウェル・アプローチをエネルギー技術革新に導く 11 の構成要素	11
(i) エネルギー多消費の世界だけが倫理的にも政治的にも受け入れ可能である	11
(ii) 現在利用可能な高炭素強度の化石燃料によるエネルギー多消費社会の構築は有害である	11
(iii) 新たな化石燃料源の発見と開発のペースは低炭素エネルギー源の発見と開発のペースを上回っており、当面これは継続する	12
(iv) 現在の低炭素エネルギー技術は技術的にも経済的にも競争力がない	14
(v) シンプルで徹底した厳しい現実主義（プラグマティズム）が実効ある解決策を示している	15
(vi) 広い視野に基づく多様性ある政策だけにして・・・	15
(vii) 失敗は成功の素	16
(viii) 発明（Invention）と技術革新（Innovation）の相互作用が必要	16
(ix) 初期段階にある技術の普及は手段であって目的ではない	17
(x) エネルギー技術革新では複数の道筋を同時並行で進むことが必要	17
(xi) 政策がボトムアップで広く社会に容認支持されることが倫理的にも実効面でも不可欠	18
2. エネルギー転換に関わる技術革新に関する最近の経験	20
(i) 強制的、誘導的なエネルギー転換は不可能ではなくとも困難であり、まず実現しない	20
(ii) 2003～13年の10年間からの前向きな教訓とは何か？	22
(iii) 2003～13年の10年間における主な失敗は何だったのか？	24
3. 各国ごとのアクションに向けたハートウェル・グループの選択肢	25
(i) より賢明な投資を通じてエネルギー技術革新を刺激する	25
(ii) 制度の限界を乗り越えてインセンティブを期待通りに機能させる	26
(iii) 各国の要件を満たした「Nationally Appropriate Innovation Actions (NAIA: 各国の実情に合わせた技術革新プログラム)を追及する	27
4. 国際レベルのアクションに向けたハートウェル・グループの選択肢	29
(i) 京都議定書体制の失敗から前向きな教訓を汲み取り応用する	29
(ii) 新技術の移転における様々な関係者の利害を認識し、それに対応する	32
(iii) 既に自然発生しているエネルギー技術革新の世界的な分業の結果を取り込む	33
結論	35
(i) 野心性（ambition）の将来	35
(ii) 将来に向けての野心性（ambition）	35
注	37

共同執筆者

Professor Gwythian Prins, Research Professor, LSE and Director, the Mackinder Programme for the Study of Long Wave Events, London School of Economics & Political Science, England

Mark Caine, Research Fellow, LSE and Hartwell Co-ordinator, the Mackinder Programme for the Study of Long Wave Events, London School of Economics & Political Science, England

Keigo Akimoto, Group Leader, Systems Analysis Group, Research Institute of Innovative Technology for the Earth, Japan

Professor Paulo Calmon, Center for Advanced Studies in Government and Public Administration, University of Brasilia, Brasil

Dr. John Constable, Director, Renewable Energy Foundation, England

Dr. Enrico Deiacò, Director, Innovation and Global Meeting Places, Swedish Agency for Growth Policy Analysis, Sweden and Affiliated Researcher, School of Industrial Engineering and Management, Royal Institute of Technology, Sweden

Martin Flack, Analyst, Innovation and Global Meeting Places, Swedish Agency for Growth Policy Analysis, Sweden

Dr. Isabel Galiana, Research Fellow, Department of Economics & GEC3, McGill University, Canada

Professor Reiner Grundmann, Professor of Science and Technology Studies, School of Sociology and Social Policy, University of Nottingham, England

Jesse Jenkins, Graduate Student and Research Associate, Massachusetts Institute of Technology, USA

Professor Frank Laird, Professor of International Relations, Josef Korbel School of International Studies, University of Denver, USA

Dr. Elizabeth Malone, Senior Research Scientist, Pacific Northwest National Laboratory, USA

Professor Lawrence Pitt, Associate Director, Pacific Institute for Climate Solutions, University of Victoria, Canada

Dr. Mikael Roman, Counselor, Scientific and Technical Affairs, Swedish Agency for Growth Policy Analysis, Office of Science and Innovation, Embassy of Sweden, Brasil

Andrew Sleight, Adjunct Professor, Imperial College Business School, England

Dr. Amy Sopinka, Pacific Institute for Climate Solutions, University of Victoria, Canada

Professor Nico Stehr, Karl Mannheim Chair for Cultural Studies, Zeppelin University, Germany

Dr. Margaret Taylor, Project Scientist, Lawrence Berkeley National Laboratory, USA

Hiroyuki Tezuka, General Manager, Climate Change Policy Group, JFE Steel Corporation (on behalf of Japan Iron and Steel Federation), Japan

Masakazu Toyoda, Chairman and CEO, The Institute for Energy Economics, Japan

免責条項:

本論文に示されている見解は、共同執筆者の個人としての見解であり、共同執筆者各人が所属しているいかなる団体の見解とみなすことも適切ではない。

序文：これまでの経緯…

ハートウェル・ペーパー (Hartwell Paper) の第一弾は、気候変動に関する科学と政治のドラマが最高潮に達していた 2010 年 5 月に刊行され、その気候変動問題に対するアプローチの斬新さによって、広く知られる事となった¹。ハートウェル会議のメンバーは、2009 年 12 月に開催された国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) の第 15 回締約国会議 (COP15) において見事に破綻したシナリオや政策から距離をおき、25 年間にわたる調査・執筆活動を基に、異なるアプローチを提唱した。このアプローチは、近年の政策が陥っている落とし穴を回避し、従来の政策に代わるハートウェル・グループ (Hartwellian) の特徴とも言える徹底した厳しい現実主義 (プラグマティズム) を提唱している²。

同論文の執筆者は、地球上の人類の爪痕 (環境破壊) を早急に軽減するためには、能動的なアクションが必要であると強く主張し、そうしたアクションが長期的に有効であるためには、広範囲で持続的な大衆の支持が必要であるとも強調した。その主張は、UNFCCC スタイルの気候変動政策に織り込まれた、目標とスケジュール表を設定した「トップダウン」型の政策が、人類文明の炭素強度 (GDP 当たりの CO₂ 排出) に目に見える変化をもたらさなかったという事実を前提に始まっているが、この前提は、後に国際エネルギー機関 (IEA) によって追認されている³。執筆者らは、そうした対策には、単に急場しのぎの手法ではなく、人類の尊厳を支え、かつそれを擁護するような公共政策が必要だという認識に立っている。2011 年に発表されたハートウェル・ペーパーの第二弾である「クライメイト・プラグマティズム」は、米国の読者向けに同様の問題意識を提供するものであった。

ハートウェル・グループではこうした原則の下に 4 つの主たる見解 を世に説いてきた。その 第 1 の見解 は、気候変動によってもたらされる問題の性質と、伝統的な UNFCCC スタイルの「トップダウン」型政策アプローチで提唱されてきた解決策との間にある不整合という問題である。

気候変動問題は、良くわかっていない多くの因果関係が引き起こしている、非常に複雑で不確実な問題であり、リッテルとウェッバー (Rittel & Webber) の有名な言葉による所の「厄介な問題 (wicked problem)」である⁴。ここでいう「厄介な問題」は、複雑な開放系において、完全には理解されていないシステムの特徴として定義されている。「厄介な問題」は往々にして一見解決可能な問題のように見えるが、実際には何とか対処することしかできないような「システムの継続的な状態」と見なすべきである。その結果、「厄介な問題」への解決策は不完全、不十分なものにならざるを得ない。従って政治がこの「厄介な問題」にアプローチする際には、謙虚さが必要で、現代の民主主義的な政策が求めがちな、危うくとも挑戦的に結果を追求する、といったアプローチは避けなければならない。

2010 年のハートウェル・ペーパーでは、この気候変動の「厄介な問題」を扱うに当たり、当時猛威を振るっていた「気候変動戦争」の存在を指摘した。(この戦争は、以前ほどではないが今もまだ続いている) 執筆者らはその戦争に関わることを避けたのだが、2013 年の本論文でもその立場を踏襲している。本論文が提唱する主要テーマや優先事項は、この戦争でどのような立場を取るかには依存しないからである。誤解のないように言うと、気候変動問題に関する主な関係者全てが、19 世紀後半からの 100 年間で平均気温が約 0.8°C 上昇したという事実⁵ に合意している。なぜ気温が上昇したかについての正確な因果関係は依然として良くわかっていないが、温室効果ガスの人為的な排出 (温室効果は、1896 年にアレニウス (Arrhenius) が独創的な論文を発表して以来明らかである) が、この気温上昇に大きく寄与していないとは考えにくい⁵。その効果については、一部で主張されているほど確定的ではないとの論が見られるようになってきたにしても・・・である。実際のところ、1980 年代以降の気候観測の全ての分野、古気候学、およびデータ処理や解析における基礎研究の歓迎すべき隆盛は、80 年代から 2000 年代に言われてきた (因果関係の) 確実性に対する我々の確信を挫く一方で、我々の理解を深める事にも資している。ただ、そうした不確実性があるにしても、温室効果ガスを早急に削減すべきと結論付ける事は、依然として賢明な判断である。しかし人為的な気温変動要因のこれ以上の増大を回避するためという理由は、他にもある多くの理由の中の一つにすぎない。こうした控えめで多元的なアプローチは、政策策定プロセスに大きな影響を及ぼすことになる。

不幸なことに「気候変動戦争」を戦う両陣営は共に、数十年間といった短期間に観測された気候のトレンドに注目して主張を繰り返している。レトリック（修辞学）としてはともかく、そうした主張が意味を持つためには短すぎる期間である。その結果、（戦いを）外から見ている大衆は混乱してしまうのである。80年代から90年代における平均以上の温暖化トレンドが、「気候行動」支持派の終末論的な態度を強化する一方で、過去15年間の気温上昇の停滞現象は、地球温暖化問題が人為的に引き起こされたというのは捏造にすぎない、と主張する人々の疑念を補強している。そうした中で、重大な障害を伴い科学的に大きな欠陥を持つこの問題に対して、もののわかる人々が納得するような現実的なアプローチを（ハートウェル・メンバーが行ったように）提唱しようとしても、いずれの陣営の立場もその主張の基盤が弱く、有益な概念的枠組みを提供できていないのである。

この複雑な状況において我々は、良くわかっていない開放系である気候システムに特有の難しさの存在を認識しなければならない。何よりも先ずこの問題では、いくら調査しデータ収集を進めても、「ここで止めてそろそろ政策を作り始めよう」というような十分な知識は、決して得られないのである。調査・データ収集と政策策定は同時並行で進められなければならない。さらに言えば、気候変動のような「厄介な問題」は、政治権力者にとって極度に難しい問題であるという事を理解しておく必要がある。ほとんどの政治家は、権力を行使して何かを成し遂げたいという欲求を持っているが、現実的な不安が大衆心理を支配しているような状況では、そうしたアクションを促す圧力は極めて高い。しかし、対策の修正や改善を受け付けず、劇的な技術革新が起きる可能性を認めずその門戸を閉ざすような、拙速で不可逆的なアクションを打つことは、極めて非生産的なものになる懸念がある。

常識は大きな誤解をもたらす。そうした例として2010年のハートウェル・ペーパーでは、「ジェヴォンズのパラドックス（Jevons Paradox）」がもたらす意外な効果（学会では「リバウンド効果」として知られている）を挙げている。それは、プロセスや機器の効率性の改善がもたらす省エネ効果は、必ずしも等量のエネルギー使用量の削減をもたらさないというものである⁶。（効率改善の結果）そうしたプロセスは一段と魅力的となり、より広く使われるようになる可能性がある。あるいはエネルギー費用の節約によって解放された購買力が、更にエネルギーを必要とする財やサービスの消費に支出され、結果として効率改善による省エネ効果を損ねる可能性がある。ジェヴォンズが1866年の有名な研究において、ジェームス・ワットの蒸気機関の劇的な効率改善が何をもたらすかについて主張したように、こうしたリバウンド効果によってエネルギー消費量の純増さえおきる可能性がある⁷。2010年のハートウェル・ペーパーが検証したように、歴史的に見てエネルギー効率の改善が温室効果ガス排出量の削減に直接的に繋がった具体的例は、日本の産業史のような特定のケースに限定されている。

その一方で、エネルギー効率の改善自体には推進すべき価値があり、実際に奨励すべきであるという事は正しい主張である。発展途上国においては（それによって節約される）エネルギーと富を、他の用途に振り向けることが可能となることで、持続的な発展に寄与することから、グローバルに見て経済的な意義がある。しかし、気候変動問題に関わる多くの政策決定者は、効率改善によるエネルギーの節約量と、想定される排出削減量を、社会や経済の個別の状況を考慮することなく安直に積み上げてきた。この問題については、未だ一般的とは言えないものの、次第に認識されつつある⁸。

今ひとつの想定外の望ましくない効果は、消費者の行動をマクロ経済的な介入によって変更させようとする試みの結果発生している。この種の自称「フラグシップ（主流派）政策」の例として、法的手続きによる炭素市場の創設というEUの試みがある。EU域内排出量取引制度（EU-ETS）は2005年の船出以来、困難な航海を続けてきたが、2013年4月に至ってついに沈没の危機を迎えている。同制度は、低炭素技術革新に必要な民間投資を促すのに十分な炭素価格を安定的に維持する事に、何年も失敗してきた。一方では、それがもたらすコスト上昇によって産業を脅かし続けることで、そうした産業のロビー活動を喚起し、その結果制度が弱体化するという結果となっている⁹。ここで重要なのは、ETSの下では自由な経済活動は許されず、経済的に最小限のコストでの排出削減策を進める事も奨励されてこなかったという点である。反対に、ETSとは別の様々な他の市場介入策によって、炭素削減策費用が潜在的に高つく再生可能エネルギーの導入が義務付けられてきたのである。

複雑な気候変動問題問題に対して万全の「解決策」を提供しようとする試みが、かえって予期せぬ歓迎されない結果を生んでいるという事実を反省し、ハートウェル・ペーパーの執筆者らは、第2の見解を提唱した。それは、気候変動への現実的アプローチについては、18世紀の造園設計における「テイパドリディ・ブラウンの原則」がヒントを与えてくれるというものである。つまり、「(意図的に)目標を逸らして、迂回的にアプローチする」というものである。前論文ではこの原則に基づき、気候変動という「厄介な問題」に対して正面から取り組むのは間違いで、成功のためには間接的なアプローチが不可欠であると論じた。その結果示されたハートウェルの手法は、有益な結果を迂回的だがより早くもたらす、二酸化炭素排出削減以外の幅広い取り組みを包含したものになっている¹⁰。

3番目の見解は、2010年のハートウェル・ペーパーが一貫して主張した「気候政策におけるピルキーの鉄則 (Pielke's Iron Law of Climate Politics)」である¹¹。共同執筆者の1人であり、その提唱者である(コロラド大学の)ピルキー教授の名を冠したこの鉄則は、大衆にとっての「実感費用」と、それを「負担したい気持ち」には政治経済学的な上限値があり、こうした上限を破るような政策は、成功するために必要な真っ当な正当性を人々から与えられない、というものである。特に気候変動という「厄介な問題」を扱うために必要な期間の長さを考えれば、なおのことである。

民主社会においては、生活者＝有権者が実感する費用を増加させるようないかなる気候変動対策も、正当な権限を与えられず、成功はおぼつかない。消費者負担増を伴う補助金や化石燃料の大幅値上げを通じて、低炭素エネルギーの採用を加速しようとする、京都議定書第一約束期間の一連の取り組みに対して、この見解は本質的な疑義を示している。ピルキーの鉄則が予見したとおり、こうした政策は支持されない事が立証されてきただけでなく、かえって「地球の危機」を煽るような気候政策に対する世間の反発を招く結果となっている。

ハートウェル・ペーパーは、人類生存の危機にも市場主義にも訴えることなく、気候変動問題へのアクションを正当化するものであった。ハートウェル・ペーパーはその第4の見解として、ピルキーの鉄則に従い、今でも電力へのアクセスを持たない10億人以上の人々の希望を奪うような経済成長抑制策に対して反対している。そうした政策は非人道的かつ非現実的な悪い政策であると結論づけている。ハートウェル・ペーパーで提唱され、本論文でさらに掘り下げたアプローチでは、社会正義と人間の尊厳の強化をその核心に据えている。我々はこの目標追求のために、とりわけ巨大な人口を抱えるインド、中国、ブラジル、インドネシアおよびサハラ以南のアフリカにおいて、貧困緩和のために実現可能なアクションを起こす同盟を結成することを目指している。そうしたアクションには、地球上の人類の爪痕(環境負担)を軽減するという、副次的ではあるが価値のある恩恵も伴うことになる。

2010年のハートウェル・ペーパーで示された徹底した厳しい現実主義(プラグマティズム)という主張は、EU以外の国々の関係者や、一部の大手企業によって熱狂的に歓迎された。その後、ハートウェル・ペーパーの示した洞察に共鳴する形で、国際的な外交枠組みを創ろうという動きが見られるようになってきた。国際的な「トップダウン」型の出発点ではなく、各国の国内取り組みに基づく「ボトムアップ」のアプローチに、より重点を置こうという動きに注目すべきである¹²。この歓迎すべき動きについては、第4章でさらに掘り下げている。

2010年のハートウェル・ペーパーでは、低炭素ないしは無炭素エネルギーの創生に関する、画期的な発明(Invention)および漸進的な技術革新(Innovation)の両方の必要性を示した。嬉しいことにこうした(技術革新の)必要性への理解は高まっている。非化石燃料由来の電力が、化石燃料由来の電力と比べて、補助金抜きでも相対的に安価になって初めて、そのような電力が世界市場で自発的に普及し、世界のエネルギー構成に持続的な変化をもたらすことになる。現時点では、原子力(4.9%)、水力(6.5%)およびその他の再生可能エネルギー(1.6%)を合わせても、その貢献は大きいとは言えず、我々が本論文で焦点を当てる水力以外の再生可能エネルギーの貢献は、とりわけ小さい¹³。

本論「THE VITAL SPARK」は、こうした先のハートウェル・ペーパーの論点をベースにして構成されている。以下の章では、前論文の主張と整合するような政策が、いかにしてエネルギー分野における発明(Invention)を助け、それに続く技術革新(Innovation)を加速することができるかという点について、建設的な示唆を与えてくれる包括的な見通しを提供するための議論を展開していく。

要旨

- 本論「THE VITAL SPARK（創造の瞬間）」は、2003年から2013年という特異な10年間から、有益かつ前向きな教訓を学ぼうとする試みである。この第3次ハートウェル・ペーパーが示す一つの主要な結論は、「気候変動対策に向けられたトップダウン政策は、これまでのところその目標達成に失敗しており、今後も決して成功しないだろう」という事である。自発的な、十分に手頃な価格による、政治的に持続可能なエネルギー転換だけが、成功をもたらすことができる。それには、既存技術の普及をベースにした政策には（特に発明に関しては）限界があると認識した上で、発明=Invention（発明）と革新=Innovation（発明の現実への応用）の両方が必要なのである。
- そこで共同執筆者らは、11項目からなる一連の現実的な構成要素（Building Blocks）について提案している（以下（i）～（xi）に示す）。それらは、手頃な価格で、かつ炭素強度を低下させ、ひいては環境汚染も低減するようなエネルギーを、全ての人々に提供するという企てを実現するための構成要素となっている。
- （i）エネルギー多消費の世界だけが、倫理的に正当化でき政治的に実現可能である。この見解はハートウェル・グループが2010年から現在に至るまで主張し続けているものであり、世界の底辺にいる数十億の人々が、生活の維持と尊厳の確立に必要なエネルギー供給を受けられずに取り残されるような政策は、容認できるものではないということである。
- 現時点では、炭素強度の高いエネルギーだけがそうしたエネルギー多消費の世界を実現できるのだが、（ii）そうした世界が地球の気候に対して脅威をもたらすことになるのは明らかである。
- 本論文では、（iii）新たな化石燃料の発見と実用化のペースは、低炭素エネルギー源の発明と実用化のペースを上回っており、当面これは継続すると見ており、（iv）現状の低炭素エネルギー技術は技術的にも経済的にも競争力がない、と考えている。
- 従って（v）現実的で、（vi）柔軟かつ多様な技術革新政策が不可欠であり、そこでは（vii）政策の失敗も進歩にとって必要なコストとして甘受する必要があることを認識しなければならない。
- 以下で設定する定義に基づき、（viii）画期的な発明（Invention）と技術革新（Innovation）の両方が必要なものであり、（ix）初期段階にある技術や成熟した技術の普及、あるいは画期的な技術の実用化については、それ自体を究極の目的とするのではなく、更なる知識の拡大と新発明に繋がる手段とするべきである、と主張している。
- 多様なアプローチが必要であるという観点を強調して（x）エネルギー技術革新においては、複数のアプローチを同時並行で進めなければならないと認識することが必要である。

- 最後の構成要素は最初の要素 (i) と関連している。それは、(xi) 広範囲でボトムアップ型の社会的に認知・支持された政策が、倫理的に見ても政治的に見ても不可欠である、というものである。
- 本論文では次に、エネルギー転換におけるエネルギー技術革新の最近の経験を精査することで、2003年から2013年の10年間の教訓について紹介する。歴史的に見て、「政策主導」によるエネルギー転換は稀である。一方で（欧州と米国で2003～13年にみられたような）全然別な政策のもたらした結果とそのプロセスについて見ておくことには、情報源としても、また前向きな教訓としても価値があると論じている。
- 本論文は次に、現実的で達成可能な改善を目指して、National Level Actions (NLAs : 国別アクション) に関するハートウェル・グループの選択肢を提示している。そこでは、賢明な投資を通じたエネルギー技術革新に向けたインセンティブについて提唱している。そして、さまざまな機関の限界を打開する手段と、当初の意図通りにインセンティブを機能させるための方策について提案する。また、発展途上国による適切な緩和行動 (NAMAs) の重要性が高まってきているのを受けて、そのアナロジーとして、類似的で補完的な「各国の実情に合わせた技術革新プログラム (Nationally Appropriate Innovation Actions : NAIAs)」を提唱する。
- NAMAs と NAIAs は、外交における新たなプロセスを触発することに繋がる。そこで本論文では、国際的なレベルでの行動 (International Level Actions : ILAs) に対するハートウェル・グループのオプションについて以下3点を詳しく論じている。
 - 京都議定書体制の失敗からいかにして前向きな教訓を理解し応用するか。
 - 新技術の移転に関する様々な関係者の利害をいかに認識し対処するか。
 - 既に自然発生しているエネルギー技術革新における世界的な分業の成果をいかにして取り込んでいくか。
- 政治家は往々にして、気候変動政策およびエネルギー技術革新の分野において「野心的な (ambitious)」解決策、つまり極端なあるいは困難な解決策を要求しがちである。本論文では、これは『野心 (ambition)』という用語の誤った用法であると解説している。そのラテン語の語源である『目指す (invenire)』という言葉は、可能性の探求と人々の支持の確保が肝要であるということの意味している。「野心 (ambition)」という言葉の語源に基づいたこの解釈のみが、具体的な結果をもたらしてくれる。大胆な意思を実際に成就させるという概念を欠いた偽りの「野心 (ambition)」は、その言葉を口にする政治家の一時的な利益以外、誰にも良い結果をもたらさない。
- 本論文では最後に、このプロジェクトの究極の目標でもある、ハートウェル・グループ的な意味での「将来に対する野心 (ambition)」とは実際には何なのか、という問いに対する共同執筆者らの見解を述べている。即ち、全ての人々の繁栄のみが排出削減に対する広範な合意を形成することを可能とし、手頃な価格のエネルギーのみが全ての人々の繁栄をもたらすということである。

導入：定義、動機、および謝辞

本論文では、2010年のハートウェル・ペーパーにおける主張を、エネルギー分野における発明（Invention）と技術革新（Innovation）に適用する事で、同論文の論考を発展させることを試みている。執筆者らは、エネルギーが人類と地球の繁栄にとって不可欠であるにもかかわらず、そうした事実が認識されていないと考えている。

発明（Invention）と技術革新（Innovation）は同じではないが、両者は相互に深く関連している。両者は日常会話で区別なしに使われていて、必然的に関係しているのだが、概念的にはそもそも異なるもので、不正確さが混乱につながらないように注意深く使い分けなければならない。いつもながら、語源をたどることが指針を提供してくれる。

『発明（invention）』はラテン語の『見つける（invenire）』を語源とし、『行き当たる』、『見つける』ことを意味している。この単語は、新たな発見をもたらす根本的な考え方を示唆している。この単語は、全てを一瞬にして、あるいは「ビッグバンの」に変化させてしまうような劇的な発見に焦点を当てた、純粋科学の領域で主に使われている。

一方で『革新（Innovation）』のラテン語源は『変化させる（innovare）』であり、既存物の改良もしくは変更を意味し、または既存の状況に何か新しいものを持ち込む事を意味している。重要な事は、革新（Innovation）と発明（Invention）との間の非対称的な関係である。一部の発明（Invention）は決して革新（Innovation）に結び付かない。発明は物事を開始するものである。革新（Innovation）の過程でさらなる発明（Invention）が起こる可能性があり、時として、漸進的な改善が更なる根本的な発明（Invention）の門戸を開く可能性もあるが、革新的なプロジェクトの性質によっては発明が制約される公算も大きい。こうした制約もあって、革新（Innovation）は新たなテーマの策定というよりも、多様化の方向を向いている。これは「実践的学習（learning by doing）」の限界を示しており、そうした限界は現在の政策立案においてはほとんど無視されている。

目下の我々の議論にとって重要なのは、技術革新（Innovation）が特定の状況の下では新たな発明（Invention）をもたらさず、既存の発明を新たな知識の進展を伴わずに単に活用するだけに止まるということである。ヨーゼフ・シュンペーター（Joseph Schumpeter）には、「郵便馬車を何台繋げても、決して鉄道を得る事はできない」という歴史に残る名言がある¹⁴。このことは、現在の多くの低炭素エネルギー政策が直面している問題だと我々は考えている。そうした政策の多くは、それ自体が革新的なものであるかどうかや、それが技術革新や更なる発明を促すか否かには関係がなく、実際のところ、ただ普及自体を目的に普及を図っているものである。エネルギー工学における（人類の）知識の現状が、競争力ある低炭素エネルギーを提供するに足る十分なものだったとしたら問題なかったのだろうが、悲しい事に現実はそうなのではないのである。

従って本論文では、政策の方向性について、発明（Invention）に対する十分な支援を確保するだけでなく、技術革新（Innovation）が支援されている分野においても、そうした支援が無益な普及過程に陥ることなく、さらなる発明（Invention）をもたらす生産的なものとなるように見直すべきであると主張している。要するに、創造的な技術革新（Innovation）は、一義的には『変化（innovare）』であるとしても、われわれが追求すべきは『見つける（invenire）』の要素も備えたものとするべきということである。エネルギー技術革新は、単なる技術の問題ではなく、より広い意味での人類の選択肢として、必然的に極めて真剣な社会的課題なのである。以下記述するように、この事実を忘れると、事態は容易に崩壊に向いかねない。

今次のハートウェル・ペーパーは、「エネルギー技術革新をいかにして成功させるか」ということについて解説するものではない。あらゆる状況に適合するような万能の処方箋を提供できる者は誰もいないからである。もしそうした策を示す人がいたら、その人を信用してはいけない。魔法の薬はないのである。ハートウェル・グループの当初の洞察と、2010年のハートウェル・ペーパーにおいて何

故、技術革新 (Innovation) が我々が次に取組むべきテーマであると結論付けたかについて読者に思い出していた後、本稿ではエネルギー技術革新が成功するために必要な条件について提示していくことにする。

先ず初めに、エネルギー技術革新を成功に導くためのいかなる政策においても、基本的な枠組みになると我々が考える 11 の構成要素 (Building Blocks) について解説する。次に、我々は近年の経験について解析し具体的な成功事例を模索したが、幾つかの成果はあったものの、到底十分とは言えないものであった。そこで我々は構成要素の第 7 番に従って、近年の失敗から得られる前向きな教訓について解説している。

こうして土台を固めた上で我々は政策論に立ち返り、我々が学んだ回避すべき教訓を通して得られる各国別の政策、続いて国際間の政策における要件について解説している。

今回の我々の作業は、米ネイサン・カミングス財団 (NCF) からの多額の新規資金協力無くしては実現できなかった。本論文の全ての執筆者はネイサン・カミングス財団に対して多大なる謝意を表すものである。この資金に基づいて一連の調査研究を実施した上で、本フェーズを実施するためにメンバーが拡大されたハートウェル・グループが、論点を精査し本論文の構想を練るために、2013 年 2 月にブリティッシュ・コロンビア州 (カナダ) のバンクーバーに集結した。

本論文は冊子と同時に電子ファイル形式で英語版が刊行され、次いで様々な言語への翻訳版も公開される予定である。これらは無償で入手可能となる。

ハートウェル・グループの議長および調整役として、またグループ各員の原稿を統合した初稿の主執筆者として、共同執筆者各人の貢献、および本論文の共同執筆者になってはいない他のハートウェル・グループメンバーから寄せられたコメントに対して、深い謝意を表すものである。

グエイシアン・プリンズ (*Gwythian Prins*) (ハートウェル・グループ議長)

マーク・エリオット・ケーン (*Mark Eliot Caine*) (ハートウェル・グループ調整役)

The Mackinder Programme for the Study of Long Wave Events
ロンドン経済大学 マッキンダー長期事象研究プログラム
2013 年 6 月

1. ハートウェル・アプローチをエネルギー技術革新に導く 11 の構成要素

本論文は、円形をいかにして四角形に変えられるかについて述べていて、エネルギー多消費でかつ低炭素の社会の同時達成という、明らかに相反する目的を如何にして達成するかについての論考である。我々は、大量のエネルギーを低コストで、環境に優しい方法で提供する手段について追求している。

いかなるアクションプログラム、あるいは概念的な枠組みも、構成要素となる一連の概念群によって構成されている。それらは、原理原則に対する信念かもしれないし、調査に基づく結論かもしれないが、そうした前提は往々にして明示的には示されない。またそれらは、批判を回避するために意図的に隠されている可能性すらある。こうした（前提）明示の欠如は、知的な弱さを覆い隠すだけではなく、核心的な価値や原理原則に関する真つ当な議論を排除するという意味で、危険でさえある。陽の光が最良の消毒剤であるという知恵に即して、本論文では先ず、執筆者間で合意され、従って本稿のアプローチにおける共通基盤を形成している前提について、明確化していくことにする。

(i) エネルギー多消費の世界だけが倫理的にも政治的にも受け入れ可能である

言うまでもないことだが、環境に優しいエネルギーの必要性は広く認識されている。しかしそれは存在していない。2010年のハートウェル・ペーパーで我々が強調し、その後数年間の気候変動に関する国際交渉において確認されてきたように、不公平の解消や経済発展の継続を疎外するような国際的な気候戦略は、我々が見れば当然なことに、発展途上大国の政府や国民にとって受け入れ難いものである。従って、人類の尊厳と地位の向上にとって必要な質と量のエネルギーが、普遍的に利用できないという事については、我々は政策の失敗であり、倫理的にも容認できず、政治的な進展への阻害要因であるとみなしている。

現在電力なしの生活を強いられている人々の大半は、南アジアとサハラ砂漠以南のアフリカに住んでおり、世界でも最も貧しい人々である。そのような人々に経済成長と発展をもたらすための、安定的かつ安全で、安価なエネルギーの役割はよく知られており、報告もされている。電力の利用が人々の経済的・政治的地位向上の必要条件である事に疑いの余地はない。こうした理由から、そして当然のことながら、エネルギーへのアクセスは中南米、アフリカ、アジアといった人口の多い地域における最重要な政治目標であり、現在でもその状況は変わっておらず、それは気候変動問題に優先している。しかし、そうでなければならないのだろうか？

ハートウェル・グループのアプローチでは、全ての人々が購入可能で信頼性あるエネルギーによってエネルギー多消費の世界経済が創造できた場合にのみ、環境に優しいエネルギーという目的を達成できたことになると主張する事は、決してパラドックスではないと考える。エネルギーに対する普遍的なアクセスという主張は、単に倫理的なものではなく、政治的要件であると同時にプラグマティズム（現実性）の問題でもある。

それではこれを如何にして達成すればよいのだろうか？この問題はこれまで、国際的な気候変動交渉の対立的な状況において、人類の成長発展か自然環境かという、鋭く対立する利害関係者間の争いと位置づけられてきた。有名な NGO も、そうした互いに相容れない宗教戦争の勝者となるべく、それぞれが標榜する利害のためにこの戦いに名を連ねてきた。人類は全ての陣営の価値観と利害のバランスをとる手段を見出さねばならず、さもなければ失敗の運命が待っている。我々は、不幸にも非生産的な現状を精査した上で、状況を改善するためには最初の原則に立ち戻る必要があると考えている。

(ii) 現在利用可能な高炭素強度の化石燃料によるエネルギー多消費社会の構築は有害である

現在利用可能な、炭素強度が高い天然資源によるエネルギー多消費社会の構築が有害であるということには、多くの理由がある。それらは、伝統的な国家安全保障上の懸念から、健康や排出量のもたらす影響など多岐にわたっている。最新の BP エネルギー統計は、世界の一次エネルギー供給の 87%は石炭、石油、天然ガスに依存しており、それぞれの割合は石炭 30%、石油 33%、天然ガス 24%と試算

している¹⁵。さらに将来のエネルギー需要に関するほぼ全ての予想が想定する、大幅なエネルギー需要拡大を満たすためには、大気中の二酸化炭素濃度は産業革命以前の 280ppm と比べて少なくとも 2 倍、場合によっては 3 倍に上昇する事になる。これに全ての人々に十分なエネルギーを普遍的に提供するという、我々が必要と考えるエネルギーアクセスの拡大に伴う需要増を加えると（現在のところ、国際的なエネルギー機関や大手エネルギー企業が公表しているシナリオには含まれていない）、問題はさらに深刻になる。中国やインドにおけるスモッグや肺疾患は、石炭を燃料とするエネルギー多消費世界が人類の健康、および生態系にとって深刻なリスクをもたらすという事を示している。

そのような排出量の増加が気候にもたらす影響を正確に見積もるための、確実な判断材料は存在しない。コンピューターモデルの出力結果は、当然ながら入力された前提に依存するという誹りを免れず、またそれは予測 (Projection) であって予言 (Prediction) ではない。とはいえ我々は、大気中の二酸化炭素濃度が産業革命以前の水準 (280ppm) から倍増した場合に、世界の平均気温が 2°C 程度、場合によっては 4°C かそれ以上上昇する可能性があるという、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) が裏打ちしたコンピューターモデルによる計算結果を、少なくとも指針とする事ができる¹⁶。これは、軽々しく受け止めるべき仮説ではない。

従って、エネルギー需要の増加とエネルギー貧困がもたらす需要増については、炭素原単位 (単位 GDP 当たりの二酸化炭素排出) を漸進的に減らすような、究極的にはゼロカーボンないしはカーボンネガティブとなるようなエネルギーミックスによって、何とか満たしていかなければならないのである。現状世界のプレミアム・エネルギーである石油は、高エネルギー密度、含有成分の高い精度、運搬性、温度に対する耐久性、相対的な貯蔵の容易さ、ナフサからジェット燃料に至る留分の多様性という、明らかな魅力を備えている。こうした理由から石油は、我々の時代における必要不可欠な標準燃料となったのである。こうした特長を、低炭素で、究極的にはカーボンフリーとなるエネルギー構成で再現し、かつ世界の需要増を満たし得るものによって代替するためには、更にはそれを近代的なエネルギーサービスにアクセスできていない最貧困層の消費者が支払える価格で実現するためには、多くの並外れたブレークスルーが必要となる。

これは、見果てぬ夢なのだろうか？ 本論文の共同執筆者らは、それぞれが持ち寄った広範囲の知見を精査した上で、それは確かに並外れた野望ではあるが、絶対的に不可能な事ではないという見解に達した。しかし以下に説明するように、問題の本質は技術上の (非常な) 困難さにあるのではなく、むしろ従来とは違うエネルギー技術革新へのニーズを正しく認識すること自体にある。つまり豊富で、価格が手頃で、環境に優しいエネルギーという上記の 3 要件を全て満すことで、問題解決を図るという技術開発のニーズを正しく認識することである。

(iii) 新たな化石燃料資源の発見と開発のペースは低炭素エネルギーの発明と開発のペースを上回っており、当面これは継続する

現状を確認することは常に有益である。世界のエネルギーシステムを低炭素、ないしは究極的にカーボンフリーもしくはネガティブカーボンに移行させるための挑戦は続いている。再生可能「新」エネルギーに多くが投資されているにもかかわらず、2011 年時点で世界の一次エネルギーの 98.4% は化石燃料、原子力、水力が提供している。化石燃料は既得権として莫大なメリットを謳歌している。世界のほとんどのインフラは化石燃料由来のエネルギー供給を支えるために構築されており、化石燃料に基づく経済は、世界で最も強力な企業群と金融機関群を形成し、それらに利益をもたらしている。いくつかの政府にとってそれは、将来の国の繁栄を左右するものでもある。これらすべての企業、銀行および産油国と、株主や産油国国民は、化石燃料中心のエネルギー構成を維持し、世界的に化石燃料使用を拡大させたいという強い動機を持っている。既に見てきた通り、こうした根源的な動機は意味も無く作用しているわけではない。消費者や投資家が化石燃料の恩恵に惹きつけられる強力かつ正当な理由が存在するのである。

再生可能エネルギー政策は、それが政治主導で実施された場合でも、再生可能エネルギー技術に大幅な市場シェアを獲得するには至っていない。同時に過去 10 年間、新しく改良された化石燃料の採掘技術の進展によって、世界のエネルギーの様相が変わってきている。石油生産者にとって従来開発

不可能だった頁岩（シェール）層における石油と天然ガスの採掘が、水平掘削と水圧破碎技術の進歩によって可能となった。非従来型の地層（例えばタイトロックやオイルサンド）における石油と天然ガスの確認埋蔵量の増加は、成熟した原油・天然ガス田における資源枯渇を今後数十年にわたって補ってくれる公算が高い。CCU（二酸化炭素回収使用）も、既に資源が枯渇した油田の再利用に貢献して、生産量をさらに押し上げるだろう。BPによると2011年の原油と天然ガスの確認埋蔵量の推定値は、2001年比でそれぞれ30%と24%も拡大している。世界の石油可採年数は、1981年には31年だったが、1991年は42年、2011年には54年となった¹⁷。別の数字で見ると、世界の原油埋蔵量は1991年には1兆327億バレルとされていたが、2011年には1兆6,526億バレルに拡大した。天然ガスの確認埋蔵量の増加はさらに衝撃的で、1991年の131兆2,000億立方メートルから、2011年には208兆4,000億立方メートルへと増加した¹⁸。石油支持者たちはこうした数字を挙げて、何か問題があるかねと尋ねる。では問題は解消したのだろうか？答えはNOである。

こうした埋蔵量の見直しは、化石燃料の枯渇が、近い将来再生可能エネルギー技術の利用を余儀なくし、クリーンなエネルギーを必要かつ経済的なものにする、という「ピークオイル」学派のポピュラーな主張の前提条件を覆すものである。しばしば終末論的な表現で喧伝されてきた「化石資源の枯渇」の政治的意味合いは、いまや希望的観測にすぎなくなっており、埋蔵規模との不整合によって効力を失っている。確かに化石燃料資源は、地球の寿命と同様に無限ではないというのは疑う余地がない真実である。「長期的みればだれもが死ぬ」というのはジョン・メイナード・ケインズの言葉だ。そうした長期的な前提は正しいとしても、BPの数値が示すように、埋蔵量が今すぐにも枯渇するという話には繋がらないし、単に不足するという理由で価格上昇を招くという話にもならない。しかし気候変動の政治においては、（天然資源枯渇という）先入観が依然として影響力を持っている事を認識しておく必要がある。

一方で「ピークオイル」派の議論とは一線を画した、実践的な「ピークレート」派の考え方もある¹⁹。そこでは「タイト」オイルや「タイト」ガスの単位当たり生産コストが、サウジアラビアやメキシコ湾岸諸州にある成熟した油田のような「イージーオイル」や「イージーガス」よりも大幅に高いため、可採年数が拡大するにしても、新規供給の採掘コストは大幅に高くなると指摘する。従って化石燃料ベースのエネルギー生産コストは、「ピークオイル」提唱者の唱える理由によってではないにせよ、間違いなく上昇するというのである。投資額と回収額が接近しすぎると、採掘の経済性は失われて「ピークレート（上限価格制約）」が発生することになる。

果たしてそうなるのだろうか？適切な制度条件の下で開花し得る人類の創意工夫の役割について、「ピークオイル」派は無視し、「ピークレート」派は過小評価している。水平掘削と水圧破碎がもたらした「シェール革命」はその証拠である。このような予想もしない事態が、もうこれ以上起こらないと誰がいえるだろうか？現在予想されているのは、化石燃料の供給が減少して価格が上昇するというのではなく、少なくとも中期的な化石燃料の価格水準（経済上の使用価値に基づく実質価格）は、特に天然ガスと石炭において、相対的に低い状態が続くだろうというものだ。世界の石炭使用量は2011年に5.4%増加したが、それは全ての燃料の中で最も高い伸びである。短期的なトレンドから将来予想をするのは賢明ではないが、目下の石炭の実質価格低下は、米国のエネルギー構成における天然ガスによる石炭の代替が一因である。

同時に、福島震災・津波事故による日本の原子力発電所の停止が主な理由で、世界の低炭素原子力の利用は2012年に6.9%減少した。これは過去最大の減少である。一方で「再生可能エネルギー」による急速な代替の信奉者は、水力発電を除く再生可能エネルギーを全部合わせても、世界のエネルギー供給に占める割合はわずか1.6%に過ぎないことを認識する必要がある。

従って、化石燃料の不足と価格上昇を前提にして予想されてきた「再生可能エネルギー」への移行は、予断を許さない状況にある。エネルギー技術革新のためのいかなる効果的な社会的な推進力も、こうした「ピーク」論以外の根拠を基にして設定していく必要がある。

技術的に見て、短期間で増産可能なカーボンフリーのエネルギー源は原子力だけである。同じタイムスパンであれば再生可能エネルギーより遥かに早く実現できよう。しかし、中国とインドを除けば、

福島第一原子力発電所の事故後に西側諸国は逆方向を向いている。ここで認識しておくべきは、福島原発において、安全装置はおおむね機能したということである。事故を深刻なものにしたのは補助冷却機のディーゼル燃料タンクの保護が不十分だったことであり、これは設計配置上のローテクの失敗である。世界中で多くの原子力発電所が設置されていく中で、福島事故から我々が教訓とすべきは、原子炉の安全強化と原子力発電所サイトのシステム全体の安全強化のためにあらゆる努力をしなければならないということに加え、成熟した原子力技術を持つ日本のような国においても、こうした事故が起きうるのだということ認識することである。

事故の後、複数の調査委員会が原因を指摘している。そのいくつかは福島特有の問題、たとえば東京電力やその他組織の管理ミスによるというものであったが、より広い意味で重要な原因も指摘されている。原子力事故は中国やインドでも起こりうるし、その可能性を誰も否定することはできない。それを考えると、原子力が低炭素エネルギー転換の唯一の解決策であるとは言い難い。その理由として、技術システムに由来する事故リスク（チェルノブイリ、スリーマイル島、福島）が存在するというに加え、ひとたび福島のような事故が起きれば、目下日本が経験しているような全原発停止が世界のエネルギー供給パターンに甚大なインパクトをもたらす、ということが挙げられる。事故後におきた原発停止は、電力不足を引き起こしたのみならず、日本の LNG 輸入基地の飽和と石炭輸入の激増をもたらしており、それによる追加費用負担は、日本の歴史的な貿易黒字を大きく毀損している。

(iv) 現在の低炭素エネルギー技術は技術的にも経済的にも競争力がない

世界のエネルギーシステムの転換は、21 世紀の政治的・技術的な大きな課題の一つであり、恐らくは最も重要な課題である。低炭素燃料のエネルギー密度の低さがこのエネルギー転換における様々な技術的困難の源となっていて、それは低炭素エネルギー技術が大規模に普及する前に、様々な障害を乗り越えなければならないという事を意味している。そうした障害は乗り越えるのが困難なものであり、資本・運転・維持補修に関わるコスト、風力や太陽光の制御不能な変動性（間欠性）に起因する系統接続コスト、こうした低密度エネルギーの地域偏在性に起因する周辺住民の受け入れ問題などが挙げられる。現状ではこうした障害はいずれも大きい。ただ例外としてバイオマス発電がある。これは標準的に運用できる技術であり、話題にはならないが考えられている以上に広く使われている（英国で 2002 年から 2012 年の間に発電されたグリーン電力の半分はバイオマス関連技術による）。しかし必要とされる大規模な燃料栽培は環境問題を招き、土地利用における利害の対立（特に食糧生産との競合）をもたらしている。

現在の電力セクターにおいては、再生可能エネルギーによる発電の直接コストは、天然ガスや石炭など化石燃料を単に燃焼させるよりも概して 50~300%高い²⁰。風力発電や太陽光発電は幾分か進展がみられたとはいえ依然として、単位発電容量当たり（MW）の資本集約度が高く、低稼働率（太陽光で約 10%、風力で約 25%）の問題を合わせて考えると、単位発電量（MWh）当たりのコストは必然的に高くなる。さらに、これらの不安定で予測不能な発電設備を送電網に統合するためのコストも高くなる。例えば、現状では風の無い曇天の日の午後のように、再生可能エネルギーが発電できない時に電力供給をバックアップするために、従来型の発電設備を大量に維持しなければならない。送電網の混雑を回避するためには追加的な送電網を構築しなければならない。風力や太陽光発電の予報が外れた場合に備えて、高速で起動できる特殊な発電所も建設しなければならない。いくつかの研究は、再生可能エネルギーの僅かな導入に対しても、こうした「接続」コストが高くなる~それも非常に高く~と結論付けており、得られるエネルギーの直接コストを更に押し上げる結果となっている。²¹

原子力発電は、中国では経済的に競争力があるとみられており、現在も 29 基が建設中であるが、現在の軽水炉技術に関する、あるいは上述した日本の事故が示しているより普遍的な制約から、安全性に対する懸念に直面している。現状の炭素回収貯蔵（CCS）技術については、非常に興味深いものがあるが、現時点では実施可能と言うには程遠く、しかも石炭または天然ガス発電のコストを最大で 50%も上昇させる可能性がある。最後に、エネルギー効率の改善は、炭素排出を回避する手段として最も効果的と喧伝されているが、既述のジェヴォンズの例を挙げるまでもなく、発展途上国における消費の拡大を考えれば、気候変動における万能薬にはならないだろう²²。現実には、生活スタイルの変

化や工業生産におけるエネルギー集約度の上昇により、世界のエネルギー効率改善のペースは低下しているという事実がある²³。カリフォルニア州のようにエネルギー効率化を最も積極的に推進している地域でさえ、電力使用量のベースラインからの削減幅はわずか約 15%に止まっており²⁴、歓迎すべき改善ではあるものの、状況を一変させる劇的な改善には繋がっていない²⁵。

このように非常に大きな障害があることから、有機的なサイクルから低密度のエネルギーを抽出・転換し、消費者に配送するためのコストは、現行価格を前提とした石炭または天然ガスによる発電に対して多少なりとも競争できるほど十分には低下していない。運輸交通セクターの状況についても、より悪くはないにしても芳しくはない。石油（ガソリン）やインドの公共交通機関に見られる LNG、CNG などの交通燃料としての優位性（エネルギー密度の高さ、燃費の高さ、安全性、可搬性、補給ネットワークの充実など）は、水素自動車や電気自動車など、見せ掛けの新規技術に脅かされてはいない。非ガソリン自動車の立ち上がりは（一部の金持ちによるファッションや政治的なアピール以外には）未だに非常に限定的なものに留まっている。

(v) シンプルで徹底した厳しい現実主義（プラグマティズム）が実効ある解決策を示している

要するに、高炭素エネルギーから、低炭素、カーボンフリーあるいはガティブカーボンのエネルギーへの転換を推進するような、都合よく強力な外的な仕掛けは無いということが明白なのである。エネルギー転換は、それ自身のもたらすメリットによって引き起こされなければならない。従って我々は、技術革新プロセスの全ての段階と規模にわたって、現実的な解決策を指向せざるを得ないのである。一般論でいえば、最も単純な解決策が最良な解決策なのである。これは実社会では、大胆な仮説を排除し、現実に機能してきたことを特定、強化して、ベストプラクティスと言われているものに立脚したアプローチをとっていくことを意味している。

京都議定書は複雑で、非現実的かつ高コストだったため、それが約束した温室効果ガス排出量の削減に失敗した。それは加盟各国が何を達成する意思があるか、あるいは何が達成可能であるかということについて、非現実的な前提に基づいて構築され、拘束力のある国際的な法的合意への根拠のない妄信に対して投資してきた。その結果、途上国から先進工業国へ削減コストを付け替えるように設計された複雑な仕組みは、京都議定書の考案者が想定したような途上国における排出量削減は達成できなかった。米国は議定書への参画を拒否し、排出増加の大部分を担う中国やインドをはじめとする主要排出国は責任から逃れることになった。誰もが排出削減は経済成長を著しく妨げると正しく認識し、そうしたトレードオフを認めなかった。加えて言えば、京都議定書はつい最近まで、各国が温室効果ガスの削減を達成する技術的な手段について、支援を差し伸べるところか、それを具体的に特定さえしてこなかったのである。

各国がどうやって排出量を大幅に削減してきたかをみると、それは経済成長を阻害しない現実的な解決策に従って実施されたところで、ということになる。米国では、天然ガス発電が石炭火力発電を急速に代替しており、最新の再生可能エネルギー普及と自動車燃費改善がそれを補完している。（その結果）米国のエネルギー起源の二酸化炭素排出量は過去 20 年間で最低となっている²⁶。米国の電力セクターの炭素削減は、安価で潤沢な天然ガスの利用によって可能となり、それよりも影響は小さいが、再生可能エネルギーに対する的を絞った補助金の導入も貢献してきた。フランスでは 1970 年代後半から 1980 年代にかけて、しっかりした政府補助金によって支えられた原子力発電の拡大によって、増大するエネルギー需要を満たすという戦略的決断をした。フランスの二酸化炭素排出量は 79 年から 89 年の 10 年間で約 30%減少し、その後も低水準にとどまっている。しかしこのフランスの例は（いつものことながら・・・）特殊なケースであろう。

(vi) 広い視野に基づく多様性のある政策だけにして・・・

政策は現実的で可能な限り単純である事に加えて、技術的に柔軟でなければならない、特定の技術を予見を持って排除したり特権を与えたりしてはならない（勝ち組や負け組の烙印を押してはいけない）。他の分野での、例えば米国防省が後援する米国防高等研究計画局（DARPA）の経験では、特定の技術に向けた道筋を優先させるよりも、結果に焦点を当て、その結果にいたる道筋は予見不可能であ

るとの前提を置いておく方が効果的であることを示している。これは複数の技術の組み合わせが関わる分野では特に当てはまる。複数の専門分野が協力して問題解決にあたることを奨励し、創造性を刺激することを促すからである。そのような過程に対する資金協力は競争的なものにすべきであり、資金提供者は実際の開発のための優先順位を決める前に、予備的な研究を支援すべきである。さらに、いまだ初期段階にある、あるいは発展途上にある技術の商業化や普及支援については、技術革新（Innovation）の支援に重点を置くべきであり、革新プロセスが継続することを保証し、未成熟な技術やビジネスモデルの将来性を試すために必要な支援に限定するべきである。改善途上にある技術アプローチの間の競争は維持されねばならず、時期尚早な「勝者の選択」は避けなければならない。

(vii) 失敗は成功の素

技術革新（Innovation）は無秩序である。それは動的な進化のプロセスであり、政策によって形成され頻々と変化する市場環境の中であって、ある技術が成功するか失敗するかは、それが成長していく能力次第である。常識に反するかもしれないが、技術革新（Innovation）の度重なる失敗自体は、それが大規模な失敗であっても本質的には問題ではない。真に問題なのは失敗の烙印を押す文化、あるいは発明者が、意識的にリスクを取る意欲を削ぎ、未来の発明者から夢を奪ってしまう事だ。同様に問題なのは、発明者自身や他人の失敗を研究する有効なプロセスとインセンティブを欠き、発明者たちが失敗から教訓を学んだり、その教訓を次の革新に適用できなくなる事態である。

従って重要な事は、発明者や政策決定者にとって、進んでリスクを取り、たとえ失敗しても続けたいと思える環境、失敗は汚名を着せるものではなく教訓を学ぶ対象であるとする環境を確保することである。そうした環境があれば、失敗した発明者が挑戦を続けられるばかりでなく、より多くの人々を技術革新（Innovation）へと向かわせることになるだろう。我々は、失敗の資金負担および機会損失を低減させる事で、意図的にリスクに挑戦する機会を増やさなければならない。失敗に対するの我々の認識そのものを改めなければならないのである。言うは易く行なうは難しだが、失敗に対する認識を改め、失敗における資金負担や機会損失を低減する事で、意識してリスクに向かっている機会を増やす事が不可欠なのである。

(viii) 発明（Invention）と技術革新（Innovation）の相互作用が必要

執筆者の何人かは 2010 年のハートウェル・ペーパーにおいて、炭素の人為的な排出を削減しつつ近代的なエネルギーへのアクセスを拡大するためには、入手可能なベストの低炭素エネルギー技術を全ての人々に普及させるとともに、低炭素技術の持続的な改善を行っていくことが必要であると主張した。それには 2 つの道筋がある。本論文で我々は、漸進的な技術革新（性能改善とコスト削減を通じた技術フロンティアの漸進的な拡大）と、既存のエネルギー市場を「破壊」し、エネルギーシステムの転換を加速する劇的な発明（Invention）の双方に焦点を当てた政策を主張していく。

排出削減とエネルギー拡大という二つの課題に同時に対処するために、エネルギーの技術革新を 3 つのグループに分類する。

- 炭素排出強度が低い低炭素エネルギー技術
- 排出量がゼロとなるカーボンフリーのエネルギー技術
- ネガティブ・カーボン（負の炭素排出＝炭素吸収を伴う）技術

第 1 と第 2 のグループの技術は既に存在しており、これら分野の技術革新（Innovation）は、漸進的なものと劇的なものの両方があり得るし、実際そうなるべきである。この分野における既存技術は、経済性が確保できさえすれば広範囲に普及することになる。まず省エネルギー技術や、低炭素エネルギーあるいはカーボンフリー・エネルギーの生産技術は、炭素強度（GDP あたり二酸化炭素排出量）が低い先進国から、炭素強度が高い大規模な新興国へ移転していく可能性がある。インドと中国の炭素強度はそれぞれ米国の約 4 倍、5 倍であり、世界で炭素強度が最も低いスウェーデンなどとの比較では約 13 倍から約 18 倍であって、国境をまたいだ大幅な改善の余地がある事が示唆される。

第 3 のグループであるネガティブ・カーボン技術は、排出量の趨勢を現状レベル、あるいはそれに近いトレンドに留めようとした場合、地球の環境システムの管理に不可欠となることは明らかである。現状では、原子力が予想を大きく超える規模で普及しない限り、人口が増加し経済成長が続き、産業用需要が増加する中で温室効果ガス排出量を減少させるには、低炭素およびカーボンフリー技術だけは不十分である。そこで二酸化炭素回収貯留（CCS）と二酸化炭素回収使用（CCU）が課題となってくる。CCUの方が短期的に見て見込みが高いと見られており、触媒を用いた化学プロセスでCO₂を直接食料や繊維といった材料に転換させる技術なども試みが始められている。

CCS 技術を構想段階から実証および実際の普及段階へと移行させる努力は、数件の実証プラントが稼働しているとはいえ、ごく僅かな成功しかおさめていない。しかし CCU は、例えばカナダのアサバスカのオイルサンドにおいて既に実証されている。ノルウェーと米国では、燃焼過程から二酸化炭素が回収され、油田に残る原油を回収するために使われている（このプロセスは増進回収法（EOR）と呼ばれている）。二酸化炭素はまた、作物の生長を早める促成栽培にも使われている。このプロセスは EOR と同様に、二酸化炭素に市場価値をもたらす。しかし、このような技術開発や用途開発の努力のペースは、全ての国際エネルギー機関や大手エネルギー企業が気候変動シナリオにおいて想定しているペース（言い換えれば気候変動の緩和に必要とされるペース）から大きくかけ離れている。

(ix) 初期段階にある技術の普及は手段であって目的ではない

技術革新（Innovation）のサイクルは研究、開発、試験、実証、適用、普及に大別される。このプロセスは非直線的なものであり、多くの重要なフィードバック・プロセスを含み、各段階で特定され追及される問題とその解決策との関係が複雑に絡みあっている。政府と民間の間には投資リターンの前提条件に対する大きな違いがあることから、基礎的な研究開発段階で公的な支援が必要であるという事は良く知られた経済原則である。我々は、こうした政府と民間の求めるリターンの差の問題は、単にエネルギー技術革新における基礎研究や、「発明（Invention）」段階に限らないと考える。とはいえ、試験や実証段階に対する公的支援については常に手に入るとは限らない。この段階で要求される資金の額は、場合によっては（基礎研究の）何倍にも増加し、その結果多くの政府関係者は失敗とみなされることを恐れて逡巡するからである。

基礎的な研究開発から普及段階への移行には、それを制限する 2 つの主な障害があり、それは、技術革新の中間プロセスにおける公的資金の必要性を示唆するものである。克服すべき最初の障害は、いわゆる「技術の死の谷」である。それは、科学を儲かる製品へと転換する際、あるいは試験プロジェクトを実稼働させる際、失敗のリスクが高いからという理由で必要な資金が手に入らないという谷である。第 2 の障害は、技術の大規模な実証を支援するために必要な資金を集める際の難しさで、時として「商業化の死の谷」と呼ばれている²⁷。

期待のかかった初期段階の技術が立ち往生する罫は、資本集約的でインフラ・コストが高いため、一般的にエネルギー技術において特に過酷なものとなる。このような「死の谷」は、公的支援や、それに続く民間セクターによる投資を促進するような政策がなければ乗り越えられないが、そうした支援策は、更なる技術革新や発明を断ち切ってしまう、不毛な「普及のための普及」策に陥らないようにしなければならない。これはハートウェル・グループのアプローチの重要なメッセージの一つである。

(x) エネルギー技術革新では複数の道筋を同時並行で進むことが必要

技術革新（Innovation）は一般的に、「新しいアイデアを実現した成功例」と理解されている。しかし我々がこれまで見てきた通り、この一般的な定義は実は技術革新（Innovation）と発明（Invention）を混同したものである。技術革新（Innovation）は時として新しい一つの発明や発見から実現することもあるが、ほとんどの場合、多くの要因が複合してもたらされた結果であり、新発明はその要因の 1 つでしかない。アップル社の PC や通信機器における成功は、デバイスの技術的特性がもたらしたというよりも、人間と機器のインターフェースの革新とビジネスモデルによるものであると説明する事ができる。産業界と EU 政府が共に合意した通信の GSM 規格は、モバイルデータへのアク

セスの道を開く、あらゆる技術革新の源となった。情報通信技術の分野では、技術、システム、そして人々の選択の間にある相互作用の存在が理解されており、そこでは意識的にも無意識的にも、人々が技術を利用する仕方における顕著な変化が日常的に起こっている。恐らく「ソーシャル・ネットワーキング」は、その最近の最も重要な例であろう。

技術革新 (Innovation) のプロセスでは、あらゆる局面で投資が必要となるが、各段階ごとに必要とされる支援の形態と水準は異なっている。さらに、技術革新 (Innovation) に対する投資は、革新的な組織の活動を支援・持続させるための知識や技能の源泉としての、より広い文化的・制度的な状況に依存している。従って技術革新プロセスの主な特徴の一つとして、それが一様でなく局所的なものであるということが指摘できる。革新的な実験や企てに伴う不確定性を考えれば、複数の並立した研究、開発、実証および普及 (RDD&D) の努力が、それ自体無駄ではなく、実際、劇的に新しい技術フロンティアを探求するための最も効果的な手段になりうる。

このことが低炭素エネルギー技術革新にもたらす影響は明白である。単一の技術、技術グループ、調査の方法論、あるいは単一の RDD&D の投資戦略では、手頃な価格で信頼性のある、規模拡大が可能な低炭素エネルギー技術を生み出すという課題に対処するために必要な技術の扉を開くことはできないということである。技術革新にむけた複数のアプローチが必要であり、現在進行中の努力と、将来にむけて平行して進められる努力の間で様々な調整を図っていくことが必要なのである。

(xi) 政策がボトムアップで広く社会に容認支持されることが倫理的にも実効面でも不可欠

技術革新 (Innovation) は、我々がどのようにエネルギーを供給し、ひいてはどのように現状を乗り越えるべきかについて再考することを意味している。エネルギーシステムと統合評価モデルを用いて行われるこの種の分析は、主に大規模技術システムに焦点を当てている。例えば、こうした分析では、エネルギーシステムに必要とされる主な技術的变化として、以下を指摘する：1) 電化の可能な限りの拡大 (例えば、輸送、冷暖房、その他のエネルギー供給)、2) 発電の大幅な脱炭素化、3) 低炭素またはカーボンフリーのバイオ燃料またはその他の輸送システムの開発。しかし、これらを実現するために必要とされるシステムは、近代的なエネルギーサービスへのアクセスの確保なしには、解決策を与えてくれない。なぜならそうしたシステムは、人口密度が低い地域からダイナミックに成長している都市、インフラのない地域からインフラは存在するが機能が貧弱な地域、さらには灌漑の必要性や教育、産業開発における輸送の確保といった課題に至るまで、実に多岐にわたる様々な課題が待つ状況下で、開発されねばならないからである。

そこには単純な処方箋などは存在しないし、万能薬も存在しない。18 世紀アイルランド生まれの英国の政治家にして哲学者であるエドモンド・バークが看破したように、「周囲の環境とは、あらゆる社会的及び政治的枠組みを、人類にとって有益なものにも有害なものにも変えてしまう」のである。スウェーデンがその暗い冬に都市を照らすために導入した原子力発電所は、サハラ以南のアフリカのサンベルトにあるサバンナの村に分散型マイクロ発電を設置する際の解決策にはならない。リオデジャネイロの急坂では、単純な滑車システムが輸送の選択肢としては最適かもしれず、新たに道路を作り自動車を走らせるよりもはるかに効果的だろう。ローカルな環境条件にかかわらず、特定の技術を導入しようとする近視眼的な試みは、この基本的であるが不可欠な洞察を無視しているために失敗を免れない。

それぞれの状況の持つ特異性への配慮は、健全な技術設計の原則であるだけでなく、政策と技術が有権者に受け入れられるための前提条件でもある。実際、以下に論じるように、新たな政策にとって、広範囲かつボトムアップの社会的な容認を取り付ける必要があるという事こそが、気候変動議論の最盛期にあたる 2003~07 年における失敗からの、有益かつ主要な教訓なのである。2008 年の金融危機に先立つ数年間、政治家は有権者の金を気ままに使う事に罪悪感を持たず、一方納税者や消費者も政府の税金や歳出への監視にそれほど注意を払っていなかった。(経済危機により) こうした大衆の幸福なムードが雲散霧消した後、財政を肥大させ高くつく法案を容認する意欲も、それと共に失われたのである。

我々が前進するためには新たな方策が必要なのである。人々が気候変動とその影響を懸念している事は間違いない。しかし、そうした表向きの姿勢が、実際の行動や支出意欲と整合しているとは限らない。実行可能なアプローチは、提案されている解決策のコスト・メリットとその問題点に関しての、透明性ある議論に対して大衆の参画を募るような、誠実なものでなければならない。これはもちろん、政策決定者が提案している案に人々が合意しない可能性も、容認する事を意味する。もっとも（そうした事態を招くのは）そうした政策が、政治家や立法者が、有権者に期待できる忍耐力の限界について理解しているかどうかについて、試すものであるような場合に限っての話である。こうしたことが理解されてさえいれば、（実際には）人々の支援を失うような政策ではなく、人々を引き付けるような政策が実施されることになるはずである。

2. エネルギー転換に関わる技術革新に関する最近の経験

(i) 強制的、誘導的なエネルギー転換は不可能ではなくとも困難であり、まず実現しない

エネルギー転換は長期的なものである。18世紀に石炭火力発電が登場して以来、エネルギーミックスにおける基礎燃料としての地位はバイオマス燃料（木材・木炭）から石炭、原油、天然ガスが順次継承してきており、世界のエネルギーシステムは緩やかながらも着実に脱炭素の道筋を辿ってきた²⁸。以来数世紀の間、GDPの価値一単位を生み出すための炭素排出量は、エネルギー効率の改善とこうしたエネルギー転換を主因に、平均で年率1.3%減少してきた²⁹。現在、世界のエネルギーシステムの低炭素化ないしは究極的なカーボンフリー化、あるいはネガティブ・カーボン化に向けた転換の速度を上げるため、こうした従来の脱炭素化のスピードを加速する事が課題となっている。

エネルギー技術革新はあらゆる時空間的な規模で継続的に発生するものである。企業や個人は、自らの境遇を改善するため、日々（エネルギーの）選択を行っているが、より長期的には産業が投資を行い、政府が政策を編み出すことで、両者が相まってインフラの張り巡らされた大陸を構成していく。小規模の激しい変革が目立つため、急速なシステム変革を期待しがちであるが、世界のエネルギーシステムでは数世代にわたって続く緩やかな進展が変化のトレンドなのである³⁰。

人類社会は、過去に2つの大きなエネルギー転換を経験してきた。第1の転換は、8千年から1万年前に起きた狩猟社会から定住農耕社会への転換である。バイオマス燃料（木材、木炭）を中心としたエネルギー使用量は2桁以上も拡大し、その後も着実に増加した³¹。第2の転換は約200年前に発生した産業革命において見られる。そこでは炭化水素由来のエネルギー源（化石燃料）が従来のバイオマスを補完し、後者は主に食糧や繊維に利用されるようになったのである。

この第2のエネルギー転換の過程で、世界の一次エネルギー市場のシェアに明確なパターンがみられるようになった。世界のエネルギー構成は、高炭素・低エネルギー密度のエネルギー構成から、低炭素・高エネルギー密度のエネルギー構成に移行したのである³²。エネルギーシステムが静的で変化しないことを示す「従来どおり（business as usual）」という言葉が一般的に使われているが、世界のエネルギーシステムのこうしたダイナミックな変化は、あまり認識されていない。実際にはこれとは裏腹に、常時技術を革新していくという事は、個人、企業、産業および政府といったエネルギーシステムの参加者全てにとって、ごく日常的な事なのである。我々が現実に目にするエネルギーシステムのパターンは、そうした技術革新の積み重ねが具現化したものであり、世界全体でみたとき、このプロセスは何十年という長い時間軸で進展している。

今後の技術革新（Innovation）のアイデアと関連する政策は、こうした様々なスケールの外部環境と整合性を取っていく必要がある。世界の一次エネルギー利用変化の緩慢な歩みに沿ったものでなければならない。現状続いている「産業革命」以来のエネルギーの転換は1800年に始まったものであるが、それが完了するまでには、おそらく今世紀末を待たなければならない。国連の推計によれば今世紀末の世界の人口は80~100億人となり、人口密度の高い都市部に住む人々が増えることになるが、そうした人々に高エネルギー密度で低炭素の一次エネルギーを提供することが必要となる。しかしそれは人々が望むほど早くは起きない可能性もあり、我々としては本論文においてそれを加速する方策を模索するものの、この長期的なプロセスをどの程度加速できるかについては、何とも言えないというのが実情なのである。

政府がやると決めれば、エネルギー転換を強制できるという事は間違いない。そのような強制的なエネルギー転換の事例としては、ドイツのエネルギー転換政策（Energiewende）や、米国各州の再生可能エネルギー・ポートフォリオ基準（RPS）の採用等がある。ドイツのエネルギー転換は、風力と太陽光技術に対する補助金と原子力発電所の閉鎖を組み合わせ、カーボンフリーおよびウランフリーの未来にコミットするとういう、いささか自己矛盾のある施策である。米国では、各州がRPSを採用する事によって、電力会社に一定の割合の電力を再生可能エネルギー源から確保するように求めている。認可された再生可能エネルギー施設には、生産と投資に対する減税措置が提供される。

強制的な政策に致命的な欠陥があるというのは、今の我々の論点ではない。スウェーデンやフランスの原子力発電、あるいはアイスランドの地熱など、大きな成功を収めた事例もあり、それらの全てが 10 年以上にわたって継続的に年率 3%の脱炭素化を達成している。しかしこうした事例は、(フランスの中央集権体制や北欧社会の一体性などの) あまり一般的とは言えない例外的な政治システムの恩恵を受けている。より広い経験を通してみると、強制的な政策が往々にして無力であり、時として予想外の結果をもたらす事を示唆している。ドイツのエネルギー転換政策は、風力と太陽光の大幅な普及を促す一方で、短期的には原子力や天然ガス発電を、炭素強度が高い石炭火力によって代替するという、予期せぬ結果をもたらした。原子力発電と天然ガス発電が減少するにつれて石炭火力や褐炭発電が増加しており、結果的に化石燃料発電量は 2011 年と 2012 年の比較で実質的に変化していない³³。

もちろんドイツ人はこれについて、彼らが追及しているエネルギー転換政策の曲がりくねった道のちょっとした絡まりに過ぎないとの理屈を言うかもしれないが、それは明確に言い切れる事ではない。明確なのは、ドイツのこの政策が、自国の(電力)消費者に負担を強いながらも、未だに競争力ある再生可能エネルギー産業を創出できておらず、一方この方策によって実現した削減量は、安価なガスが他所でもたらす排出増で相殺されてしまうということである。

米国では各州による強制的な RPS によって、不安定なエネルギー供給が大幅に増加し、既存の発電施設(通常は天然ガス火力)でバックアップしなければならなくなっている³⁴。系統システムに接続される不安定な電源が多くなるにつれて、電力網の信頼性維持はますます困難かつ高コストとなり、維持管理コストの幾何級数的な上昇をもたらしている。

強制的なエネルギー転換が困難である事を示す、他の事例もある。EU や一部の国々では、既存の再生可能エネルギー技術の普及を加速する目的で、利益求める市場を創造する法規制と直接的な補助金支給の組み合わせを用いている。それらは望ましいとされる「再生可能エネルギー」に、市場におけるハンディキャップ付きの優位性を与えることを意図するものであり、また化石燃料価格が増加するグローバル需要と生産の「ピーク(頭打ち)」によって引き続き上昇するという「ピークオイル」を想定したものであった。こうした政策は結果として、化石燃料の高騰に対する「先物契約」として 3 兆ユーロもの費用(対策費)を負担することに繋がった。2009 年以降の世界、特にシェールガス効果の恩恵を受けた米国において、こうした賭けが成功しなかったのは言うまでもない³⁵。

反対にこうした介入の結果として、不透明な政策に支えられ、バブル市場に典型的に見られる投資家の行動によって特徴付けられた「市場」が形成された³⁶。バブル市場の特徴は、投資家が利権追求に走るという事である。つまり、価値を創造または付加するのではなく、社会的、政治的な規制環境を経済活動の場として操作して、利益獲得を図るという事である。こうした歪んだ政策の下では、発明や革新を行なおうという動機が、別な誘惑によって封殺されてしまうため、望ましい技術が未成熟な状態で(現状のまま)固定されてしまうという結果をもたらす。

このようにして、既存の技術の普及を目的とした欧州の再生可能エネルギーへの寛大な収入支援補助金は、脆弱な産業をもたらす結果となった。補助金漬けの EU の低炭素産業セクターは、相対的に賃金が安く、皮肉にも安い石炭が利用でき炭素排出に対する罰則もないことからエネルギーコストが安いため、欧州に安売りする事ができた中国企業との競争に対して脆弱であった。欧州の再生可能エネルギー市場において重視されてきた「経済性」の焦点は、技術革新ではなく、土地利用認可の確保と、政治的に長期保証されたキャッシュフローの確保に当てられてきたと言ってよいだろう。

気候変動政策におけるこうした問題の重要性は明らかだが、その社会的な意味についても考えてみる価値はある。欧州の再生可能エネルギー産業は、政治的強制力で創造された市場に依存しているため、そこで働く従業員は事実上政府職員と言ってもよいのだが、一般的にそのような立場に伴う社会保証は与えられていない。こうした政策が経済的に見て持続不可能で、政策の行き詰まりに対応して早晚修正されるリスクにさらされているとすれば(実際その可能性は高いように思われる)、こうした産業の雇用は突然の通知による解雇リスクに晒されているという事になる。

(ii) 2003～13年の10年間からの前向きな教訓とはなにか？

IEAが最近の報告書で、世界経済の炭素強度のトレンドが過去20年間で実質的に横ばいだったと確認したように、最近の低炭素エネルギー政策の実績は、(顕著な成功例もあるものの)大幅な低炭素化に概して失敗しているというものである³⁷。さらに重要なのは、低炭素エネルギー・セクターについて中期的に見た時、補助金無しでも明るい将来が見えるほど、そのコストは十分に下がっていないということである。(ここで言う補助金は、単なる直接的な所得補償だけではない。英国の場合、再生可能エネルギーの系統接続費用の軽減措置や無償化も含まれ、また系統維持費用はほとんどの場合、電力システム全体で広く薄く賦課されている。)

一方で、低炭素エネルギーの強制普及の試みは、再生可能エネルギーのパフォーマンスとシステム統合に関して、膨大な実績データをもたらしてくれた(電力分野においてはもちろん、運輸や暖房燃料の分野でも多くの教訓を得ている)。こうした情報の大半は未だ十分に分析されていないが、そうしたデータを完全公開することにより、投資家や開発者が多くの教訓を得られる事は明らかである。従って、これまでの経験から導かれる第一の前向きな教訓は、消費者負担や税金を資金源とするようないかなる将来の政策措置も、完全に透明なものでなければならぬという事である。

このデータの重要性については過小評価してはいけない。多くの国においてエネルギー・セクターの特徴は、民主主義の歴史が長い国にあつてさえ、秘密主義とそのわかりにくさにある。低炭素化に向けた取り組みは、エネルギー業界をかつてない公共審査の目に晒しており、消費者がエネルギー供給者とその監督機関の運営や行動について、もっと良く知りたいと迫る状況をもたらしている。これは、以前は距離のあった業界のドアを開く千載一遇の機会であり、最終的には発明と技術革新を人々の関心の下で育成していく事に繋がるだろう。

気候変動問題に関する人々の無関心について、政府やNGOが嘆くことは珍しくないが、過去10年間の経験(特にエネルギーに関連する経験)は、実際に適切な制度的枠組みとインセンティブの下で、ごく短期間に、非常に洗練された議論を醸成できることを示している。これが第二の前向きな教訓である。そうした議論の行方については予想できないが、可能な限り多くの意見を取り込むことのメリットは、この予見できないというリスクを大きく上回っている。こうした特殊な状況においては、データの収集と公開がカギとなる。一義的には、投資家や開発者に判断材料を提供するためであるが、加えて、必要な変革と取り組みに対する人々の広い支持を取り付けるプロセスの一環としても鍵となる。この点に関連して、こうした努力における「野心(ambition)」という言葉の意味することに関する我々の考えを後ほど議論したい。

その他の付随的な恩恵にも注目する価値がある。システム変化のスピードは、それを実施する者が投資価値があると考えた場合に、非常に早いものとなる。実際、技術の持つ魅力が表面以上のものである場合には、極めて迅速に採用されていくことが期待できる。このことは別な文脈になるが、下記のシェールガスの例が証明している。

近代的なバイオマス燃料は、その最終的な普及度に限界があるかもしれないが、それが再生可能エネルギー・セクターの推進力となっていて、しかも人々にほとんど気付かれずに普及してきたという事は、興味深くかつ重要な事実である。例えば英国では、2002年から2012年の間に発電された全ての「グリーン」電力の半分以上が、新しいバイオマス燃料によるものである。この事例はまた、手頃な価格が実現し、制御不能な変動性の問題も解決され、かつ競争力さえあれば、他の技術にも十分成長する可能性があるという事を示唆している。

過去10年間からの前向きな教訓の第三は、政治家や政策決定者の間で、エネルギー技術革新の必要性に対する認識が広がってきたという事である。政府による資金援助の優先順位として、既存技術の普及と新技術の開発のどちらが重要かという駆け引きが続いているが、エネルギー技術革新が気候変動問題に対処するためのカギであるという考え方自体は、今や多くの支持を集めている。政治的な風向きは変化しやすいが、少なくとも今のところエネルギー技術革新の必要性に関する政治的コンセンサスは得られており、新たな、将来性のある連携関係を形成してきている。2極化された政治環境で

活動する政治家にとっては、エネルギー技術の改善に向けた施策に関して合意する可能性の方が、炭素価格などの他の気候変動政策で合意する可能性よりもはるかに高い。

米国エネルギー省が設立したエネルギー技術開発部門である、エネルギー高等研究計画局（ARPA-E）に対する、超党派的な政府の支持はその好例である。このイニシアチブは、米国が革新的で、世界をリードする技術の創造者になるべきという、全ての米国政治家が共有する見解に基づいているため、政治的立場の違いを超えた安定的な支持を獲得している。提案者や支持者の大幅な譲歩にも係わらず成立しなかった 2009 年/2010 年の米国のキャップ・アンド・トレード法案と異なり、ARPA-E は、産業の競争力、国家再生、および「未踏の」技術革新（Innovation）を達成するという、政治家と国民が共有する願望を具体化したものである。

エネルギー技術革新に対する政治の支持拡大と軌を一にして、低炭素エネルギー技術開発という挑戦に対する、科学的・技術的な関心も大きく拡大してきている。これは、ARPA-E 等のイニシアチブを通じた資金供与の拡大や、より広い意味では、アメリカ国立科学財団、英国工学・物理科学研究委員会（EPSRC）等、各国の科学技術研究組織やその他類似団体による資金提供の拡大も、その一因となっている。こうした資金提供によって、一連の新たなエネルギー関連研究プロジェクトが始動している。そこでは、コンピューターモデルで藻の成長を研究する生物学者、電力網の需要応答を研究する電力システム技術者、高速増殖炉や小型モジュール炉（SMR）を含む最先端で自律安全性を備えた原子炉の設計を研究する次世代原子力工学研究者など、広範囲な分野の科学者や技術者たちを引き付けている。

低炭素エネルギー開発のさらなる成功例として、～革新技術がいかにして市場に大規模に持ち込まれ得るかを示唆する好例でもあるが～ 従来、非経済的とされてきた地下シェール層から膨大な量の天然ガスを取り出す技術の米国における開発が挙げられる。

シェールガスを含めて、天然ガスは、原油や石炭よりもクリーンなエネルギーである。それはより効率的に燃焼し、単位発電量当たりの温室効果ガス排出量も大幅に削減できる。さらに、硫黄分も少なく、石炭や原油にみられる不完全燃焼による黒色炭素（ブラックカーボン）の発生量も少ない。ブラックカーボンにはローカルな環境汚染、健康リスクが指摘され、氷の上に堆積してその溶解を加速するなど、弊害が明らかになりつつある事を考慮すると、その削減に貢献することは特に価値ある天然ガスの強みである³⁸。

発電において、天然ガスが比較的容易に石炭を代替でき、二酸化炭素の排出量を大幅に減らす（発電量あたりで石炭の約 40%）ということは、ガス田と発電所間のガスの漏れを最小限と仮定すれば、実質的に大幅な排出削減を達成する可能性がある事を意味している。

米国政府は過去 20 年間、シェールガス探査と開発活動の拡大のために、組織的・制度的な支援基盤を提供してきた。そうした基盤には、連邦政府が資金提供した地質調査、GPS ナビゲーションの利用（政府の国防投資の成果である）、官民連携の実証プロジェクト、および米国ガス協会（AGI）を通じた優先的な研究開発の設定と実施などが挙げられる³⁹。その他にも米国における自然土地所有権制度（鉱物資源はそれが存在する土地の所有者に帰属する）や非伝統的な技術に対する税制上の支援策、最初の大型ガス田を掘り当てたいとの一攫千金を狙った掘削者の野心なども、この拡大に寄与した。このシェールガス・ブームは前代未聞の高水準に達し、米国を変容させている。

京都議定書の調印を拒否したことから、米国を「気候変動のパーリア（最下層者）」と嘲った人々を驚愕させたのは、米国がこのシェールガス革命によって 2005 年から現在までに、電力セクターの炭素排出量を世界のどの国よりも削減したことであり、その成果は EU をはるかに上回っている。EU は、気候変動の外交交渉をリードしていると自負してきたが、既に述べたように、積極的に宣伝されてきた EU の「グリーン」エネルギー政策の現実の成果は、文化的にも社会的にも政治的にも、そして経済的にも、間違いなく非生産的なものだった。ヘーゲルの弁証法的に言えば、教条的で妥協のない EU の論理は、予期された通り同様の教条的な反論をもたらしている。EU の教条的な政策を実施することの機会損失に伴うコストは無視できないものであり、加えて経済的に受け入れがたい政策の実例を途上国に示すことがもたらす意欲喪失効果も、過小評価すべきではない。

米国の産業向けエネルギーコストは、中国を含む他地域と比べて大幅に低下した。当初は供給過剰をもたらしたが、現在それは市場によって調整されている。2012年の一時期、天然ガス価格は米国で2ドル/百万BTU（英国熱量単位）だったが、同時期に欧州では14ドル/百万BTUで取引されていた。この格差は、天然ガスを海外へ輸送する難しさやコストによって、更に増幅される⁴⁰。その結果、エネルギー集約度の高い産業が米国に戻り始め、その過程で製造業の雇用増をもたらしている。重化学産業がそうした流れをリードしており、オハイオ州のように低迷していた経済をも再活性化している⁴¹。世界の発電における石炭の占める巨大なシェア、特にエネルギー需要の拡大が見込まれている途上国における石炭依存を考えると、天然ガスによる石炭代替の拡大は、世界の排出量削減に大きな恩恵をもたらす可能性がある。しかしシェールガスは、世界のエネルギー転換における最終目的地として「目指すべき」燃料とみなされるべきではない。それはせいぜい、さらなる低炭素電源に到達するために必要となる富と、人々の支持を生み出すための「ガスのかけ橋」を提供するにすぎないのである。

シェールガス採掘技術の発展と成熟は、米国の炭素排出の姿を改善し、その経済を強化しているのみならず、いかにして他の分野でも同様の急激な進展を奨励できるかという点について、さらなる洞察を提供してくれる。民間の研究開発投資が低水準に止まり、産業の直面するリスクも高かった1980～90年代に、連邦政府が資金支援したイースタン・ガス・シェールズ・プロジェクト（Eastern Gas Shales Project）、連邦政府が設立を支援した米国ガス研究所、および連邦政府主導の税制優遇策が、開発の「死の谷」である投資ギャップを埋め、長期的なシェールガス開発に対する民間の持続的な関心と投資を呼び起こすことに成功したのである。こうした政府の支援策は、開発者達に対して、各自の資源と努力を投入するのに足る十分な確信をもたらす、確固とした政策環境を提供し、資本市場だけでは恐らく調達できなかった初期投資に対する貴重な資金支援を行った⁴²。

こうした努力の経済的な報酬は膨大なものであった。少なく見積もっても、シェールガスに対する数十年間にわたる連邦政府の資金拠出は、国内のエネルギー生産の増加、エネルギーコストの低下、経済活動の拡大、税収の増加などの形で、何倍にもなって回収されている。シェールガスに対する過去数十年間の総投資額は100億ドルを超えると推計されているが（4億7,300万ドルに上る研究開発支援も含まれる）、シェールガス革命が米国の消費者にもたらしている直接的なメリットは、毎年1,000億ドル以上と推定されている⁴³。しかもこれには、低コストエネルギーや新規雇用をもたらす膨大なマクロ経済的メリットや、国産エネルギー比率向上をもたらす地政学的な見返りは含まれていない。

(iii) 2003～13年の10年間における主な失敗は何だったのか？

過去10年間の経験は、現在の政策メカニズムの主たる敗因が、現実的な経験ではなく、官僚の嗜好で技術の選択を行う事が許されてきた点にあるという事を示している。納税者や消費者の資金が技術開発に使われる場合、それらは個々の企業や技術の支援に使われるべきではなく、未知の技術に対するゆりかご（インキュベーター）の提供や、基礎的な科学、および研究開発、実証支援、技術革新等に焦点を当てた競争的な普及策の導入などの、重要かつ戦略的な技術プラットフォームへの支援に使われるべきである⁴⁴。

より一般的に言えば、過去10年間の経験から学ぶべき教訓の柱は、産業上・商売上の利害や、国内消費者の経済的利害に配慮ない政策が、消費者の反発と抵抗を引き起こし、国際的な気候変動政策の弱体化に繋がったということである。例えば英国では、気候変動政策が消費者にもたらす直接的な費用が2020年には約76億ポンドに上ることを、政府も認めており⁴⁵、今ではこうした費用の詳細が大衆紙の1面の見出しを定期的に飾っている⁴⁶。これは結果として人々の政府への信頼の崩壊を招くだけではなく、政府のあらゆるメッセージに対する全面的な信頼喪失を招きかねないというリスクを孕んでいる。国民の経済への感受性を尊重した政策は、世界的にみて持続的で魅力的な技術革新を生み出す可能性が一段と高い（これは「ピルキーの鉄則」の単純な応用である）。これは国内的、国際的な政策がいかにして策定されるべきかについて深い含意を示しており、我々は次にそうしたチャレンジについて述べることにする。

3. 各国ごとのアクションに向けたハートウェル・グループの選択肢

(i) より賢明な投資を通じてエネルギー技術革新を喚起する

技術には無機物や自然法則の操作といったことが関わっているが、何にも増してそれは人間が関わったシステムである。技術の歴史を見ると、技術開発というものが、供給圧力 (supply push) と需要牽引 (demand pull) の両方の特徴を併せ持ったプロセスである事を示している。孤独な発明家というのは大抵の場合は作り話だが、たとえ 1 人の発明家 (あるいは発明家と革新者のチーム) でさえ、開発や利用の過程で修正され、新しいインフラやルールに適合するような人工物を生み出している。こうしたプロセスはさらに、それを支える新しいシステムや人工物の更なる技術革新を誘発して、リップとケンプ (Rip と Kemp) が呼ぶところの「社会技術的 (socio-technical)」なシステムを形成していくことになる⁴⁷。

エネルギー技術革新政策が成功するためには、こうしたことを考慮する必要がある。それはボトムアップによる有機的な技術革新を育む仕組みやインセンティブを備えていなければならないし、関連するアイデアや資源を統合することができるトップダウン型の組織化原理も必要である。成功するエネルギー技術革新政策は、野心性や資金、リスクとリターンの配分等に対するあるべき指標を提供するものでなければならない。

エネルギー供給の技術革新では、発明、問題主導型の研究、実証試験、試作品の導入、人間の行動や社会変革といったものの間の適切な関係を構築することが必要となる。関係する課題領域の多様さを考慮すると、必要とされる (技術革新の) 「エコシステム」は、偶然の結果得られることは期待できないのである。

一般の人々や政策決定者の想定に反して、技術自身は全てを乗り越えるような規範的な力を備えてはいない。仮にそうした圧倒的な力を授けた場合には、既に見てきたように結果は当初意図したものと異なるものになる可能性が高く、残念なことに実際そういうケースが散見される。多くの要因が互いに対位する形で均衡が図られた時に初めて、真に自立的で持続可能な技術が形成されるのである。

情報通信技術分野で機能した技術がナノテクノロジーへ移管できないように、セクターごとの特徴について明らかにする必要がある。国やローカルの文脈でも同様である。技術革新が真に成功して人々から支持されたためには、地理的要因、インフラストラクチャー、労働者の技能、ベンチャーキャピタル、産業政策、市場の力、政治的な制度、文化的な通念、および伝統技能などの全てを考慮していく必要がある。その意味では最近の技術革新に関する研究が、これらの要因の相互関連性を考慮しつつ、国家レベルの技術革新システムに焦点を当ててきている事には期待が持てる⁴⁸。各国政府の当事者だけが、決定的な介入の権限を付与されているのである。第 3 章で述べたシェールガスに関する経緯はこうした事情を示している。

国家の技術革新政策が全体として目指すべきは、ここで述べてきたような形で、民間と公的な機関が主に「上流」に関与する状況を創るという事である。これを推し進めるためには、技術革新にむけて適切に目標設定された資金拠出が必要となる。補助金主導による再生可能エネルギー普及政策における最近の苦い経験を考えると、国家の技術革新政策は、高価で未成熟な技術を大々的に普及させることよりも、見込みのある技術の将来のコストを低減させることを目標として掲げられるべきである。一方で我々は、普及が技術の成熟化過程における必要な要素であることも理解している。従って我々としては、できるだけ広範囲な初期普及策よりも、できるだけ早く技術が改良されていくことに比重を置いた戦略を重視している。つまり未成熟で未だ変化の激しい技術の普及を図ることについては、普及それ自体が最終目的ではなく、それによってコストを低下させ、性能を改善するための手段として追及されるべきだということである。

技術革新と普及のいずれにとっても、次の課題はアクションをとるタイミングと実施する順番の問題である。普及を将来に先送りする事は、当該技術の価格がより手頃になり、低炭素技術コスト、つまりは排出削減コストの引き下げを可能にする。これは、再生可能エネルギーのケースで明らかであ

る。炭素回収貯留（CCS）設備を備えた天然ガスパラント、先進的なバイオ燃料、洋上風力発電、および太陽電池などによるエネルギー単価は、将来大きく低下するものと予想されている。しかし一方で、現在の経済危機は、過剰生産能力・余剰労働力と歴史的な低金利をもたらしている。これらは、既築ビルのエネルギー効率改善のための改修や、送配電網の近代化といった「悔いの無い」（利益の出る）投資を推進すべきことを示唆している⁴⁹。そのような投資は、高コストで不完全な技術を長期的に固定化することなく、経済活動を刺激することができるからである。

現状では技術の実証段階がボトルネックとなっている場合が多いため、実証支援は特に重要である。それは、新しい低炭素エネルギー技術の商業化プロセスにおける、律速要素となっている。実証段階では、低炭素技術の「拡張性」が試されることになるが、その目的は環境目標の達成ではなく、技術競争力を市場レベルに近づけ、その延長で自立的な普及が可能となるように生産・運用コストを引き下げるためなのである。

この段階を経た後に初めて、大規模な技術普及が追求することになる。ひとたびこの段階に入ると、技術の普及は、特定の技術の大規模な普及を誘導するように策定された技術毎の優遇政策ではなく、公害や資源希少性に着目した広範囲で市場ベースのメカニズムによって誘導されていくべきである。

こうした枠組みは概して線形的なモデルとして提示されるが、技術や情報、学習は一方方向に直線的に進展するプロセスではないということも認識しておく必要がある。それぞれのプロセス内およびプロセス間には、多くの相互フィードバックが存在する。効果的な技術革新のネットワークとは、こうした政策やステップを、国家の技術革新システム全体の中に組み込み、統合したものである。

(ii) 制度の限界を乗り越えてインセンティブを期待通りに機能させる

低炭素経済は政府の関与がなければ実現できない究極の公共財なので、公共機関、政府、市民社会はいずれも、低炭素化を促進するプロセスの当事者となる。従って問題は、政府がこの公共財を提供することに関与すべきか否かではなく、どのように関与するべきかということになる。政府の政策措置について、それがかえって邪魔をせずにきちんと支援するものとするためには、どんな手段をどんな水準で提供すべきなのだろうか？ある種のインセンティブの活用については今や相当の実績があるが、その結果は一様ではない。我々は、有益な技術革新を後押しする戦略を手助けし、策定していく手段について検討してみた。

現状では多くの民間企業は、一定のリターンが保証されない限りリスクがあまりに高い市場において、クリーンで手頃なコストのエネルギーを目指した技術革新を実施しようとはしない。しかしそうしたリスクを完全に払拭してしまうと、我々は即座に超過利潤追求という問題に直面することになる（第2章(i)を参照）。補助金は予期しない結果をもたらし、市場を歪めることになるため、慎重かつ細心の注意を払って使われなければならない。補助金が使われる場合には、技術革新の促進を前提とし、過剰利潤の追求を最小限に止めるように設定されるべきである⁵⁰。実証のための資金提供、ソフトローン、将来の購入計画と関連した債務保証、およびリスクとリターンの共有といった他の全てのインセンティブ方式も、理に適った形で検討・導入されるべきである。同時に、最も重要な投資促進策の一つは、政府の政策や規制に一貫性を持たせるということである。

これに関してはガイドラインや最良事例をいくつか挙げるができる。化石燃料に対するインセンティブや補助金は廃止すべきである。エネルギー効率の向上は、特にそれが「負のコスト」で実現できる場合は、それが1対1の排出量削減につながるという理由からではなく（先に議論したジェヴォンズのパラドクスのように必ずしもそうならない）、経済的に大きな意味があるという理由から促進されるべきなのである。促進政策は、コンセンサスを前提に、かつ副次的恩恵がもたらされる形で実施されれば、人々から支持される政策となる。

世界統一の炭素価格を導入しようという政策に対しては、同様の支持は得られないだろう。それは、これまでの国際的な試みの中心にあり、ほぼ失敗に終わった国際炭素取引システムに代わるものとして提唱されてきた⁵¹。しかし、世界統一炭素税は、相対的に複雑ではないにしても、その合意と普及の可能性については、国際炭素取引制度の導入、あるいは気候変動に関する国際条約の合意そのものが

困難なのと同様、現実的ではないだろう。その意味では、国内炭素税の方がより実現性が高いアプローチである。2010年のハートウェル・ペーパーで我々が提言したように、そうした（国内）炭素税は、税率を極めて低く押さえた目的税として導入できれば、クリーンエネルギー技術の発明と技術革新に向けた資金調達の有益な手段になり得る。

前章で議論したように、既存の化石エネルギーの環境面、技術面での効率を改善しながら、コストを低下させるためのインセンティブも導入すべきである。高炭素密度のエネルギーが必須であり、短期的に見てそれが唯一の現実的な選択肢であるような場合（例えば電力供給の拡大にコミットしている貧困国で、大規模なベースロード発電所として他に選択肢がない場合など）、流動床型燃焼や超々臨界石炭火力発電といった最先端技術や、天然ガスによる石炭の代替などに対して、政策的なインセンティブ付与が行われるべきである。例えば南アフリカやブラジルでは天然ガスによる代替が近い将来に実現するかもしれない。これらのケースは、それ以外の手段では達成できないことを可能にしてくれるものである。全ての化石燃料について無差別に受け入れ難いと宣告して、こうした可能性を全て否定するのは、近視眼的で自滅的だというのが我々の見解である。

ローカルあるいは地域レベルにおいては、異なる状況下で異なるインセンティブが機能することになるだろう。いずれの場合でも、人々の支持を得ることが肝要であるが、それは気候政策が地域コミュニティにとって魅力的である場合にのみ勝ち取れる。そうしたケースでは、リベートの提供が現実的な解決策を提供する可能性もある。また、プロジェクトに反対するであろう地元の利害関係者に対する資金的・社会的インセンティブを拡大するために、所有への参画（資本参加）の斡旋も有効になるかもしれない。例えば、英国では風力発電建設に対して強い反発があるが、一方ドイツではそうした反対は概ね皆無である。英国の場合、風力発電設備を大手電力会社が保有しており、膨大な環境コストを負うことになる地元住民には恩恵が回らない。一方ドイツでは、地元との協同組合が実質的に保有するという長い歴史があり、それが開発によって最も影響を受ける人々に対する収益還元役割を果たしている。そのような地域住民による所有の形態は、全ての利害対立を解消できるわけではなく、地域の事情によっては不合理な投資リスクに地元の所有者を晒す可能性もある。それでもなお、地域住民の直接関与は、政府から現在得られるリップサービス以上の意味を持つ基本原則である。その意味で米国のシェールガス革命における地主への資源所有権の付与は意味が深い。

(iii) 各国の要件を満たした「Nationally Appropriate Innovation Actions (NAIA: 各国の実情に合わせた技術革新アクション)」を追及する

各国にはそれぞれ自国の優先課題がある。資源に乏しい日本では、エネルギー供給源として輸入化石燃料に依存しており、政治の最優先課題は輸入に依存しないエネルギー安定供給の確保にある。日本が（2010年のエネルギー基本計画において）、電力供給の約50%を原子力発電とする国家目標を設定した理由は正にここにある。さらに福島第一原子力発電所に対する津波の襲来と、その後の原子力発電に対する人々の動揺を受けて、日本が中長期的なテーマとして海底メタンハイドレート開発を行い、原子力の管理体制を精力的に再構築し、東西電力網の相互接続容量を1GWから2～3GWに拡張しようとしている理由も正にここにある。

各国が様々な外的状況や、それぞれ環境的、社会的、政治的な事情を抱えていることは、各国それぞれが技術の異なった分野に焦点を当てた選択をすることに繋がる。中国では、国内の石炭の供給は潤沢だが、石炭火力発電所からの微粒子の排出による深刻な大気汚染の問題に直面しているため、国内炭のクリーンな利用がエネルギー・セキュリティよりも高い優先度が与えられる可能性がある。スウェーデンでは、既存の原子力発電所と水力発電所が豊富に存在することから、エネルギー供給は比較的クリーンかつ潤沢なので、エネルギー資源が乏しい他の国と比べて、コスト低減と輸出市場の開拓の優先度が高い。

要するにこれら事例が示しているのは、各国の技術革新に向けた課題が、それぞれの国の設定した優先順位に基づいて方向付けされているということであり、必ずしも温室効果ガス排出削減のような国際的な政策目標によって方向付けられてはいないという事である。ある国において温室効果ガスの

削減がどこまで優先的な問題と見なされるかは、より差し迫った他の優先的な国内問題とそれがどの程度重複しているかに応じて決まってくるのである。

政治の現実から見て、排出削減は歓迎されていないというわけではないが、現状では、主に雇用創出、エネルギー安全保障、産業創出、社会保障、国内産業の競争力確保といった、より優先順位の高い他の目標に向けられた政策の副産物として、多くの温室効果ガスの排出削減が実現している。これは人類が地球にもたらしている悪影響を効果的に軽減していくための、新たな政治的な窓を開くという意味で、有効な動きと言える。

しかしながら、近年の動きをみると、そうした政治の窓は開かれてこなかった。この開かれた政治的窓が欠けている現状が、2010年のハートウェル・ペーパーで気候変動問題に対して「迂回的な」アプローチを呼びかけるきっかけとなっている。迂回的アプローチとは、人類が環境にもたらす悪影響を軽減するという付随的な恩恵を得られるような、全く異なる主目的を持ったアクションに高い優先順位を与えるというものだ。たとえば日本の非在来型の天然ガス開発や、中国のクリーン石炭技術の追求は、気候変動問題への懸念を主たる動機とした政策アプローチではなく、その意味でこうした事例は示唆的である。これらの政策アプローチは、各国がそれぞれの優先課題に対処することで、民主主義的な正統性や政治家の支持を獲得できるだけでなく、石炭使用の回避やその悪影響を低減する技術の向上によって、気候変動問題にも良い結果をもたらすことになる。

国内の政策措置を、人類が地球にもたらす悪影響の軽減に活かせるというこの見識は、それぞれ地域レベルや国家レベルの問題解決を優先しながら、世界レベルでの成果を最大化するために、それらを最適化していくという戦略を取り得ることを示唆している。

気候変動問題に対処するために必要な技術革新は、地域的なものであり同時にグローバルであるという特徴を持っている。それは、世界が団結して取り組む将来に向けたアクションの重要な旗印としての「Nationally Appropriate Innovation Actions (NAIAs: 各国の実情に合わせた技術革新アクション)」を追求する動きに繋がってくる。NAIAには、ブラジルの地方の電化計画である *Luz para todos*（「皆に電気を」）や、ARPA-Eを通じた米国のハイテク・エネルギー技術革新投資などの、非常に広範囲の活動を含まれる事になる。これら全ては、地域の優先事項を達成するために地域の資源を活用しているが、結果として世界的な恩恵ももたらすものである。

NAIAアプローチの最も有望な点は、それがUNFCCC下での世界的な気候変動交渉と両立可能であるという事だ。この善意の国連プロセスは、長年にわたってほとんど成果を出せず、改善の兆しも見られない。しかし政治的な埋没費用とプロセス全体を覆う制度的な慣性モーメントを考えると、少なくとも中期的に見てこのプロセスが消えてなくなることはないだろう。従って我々は、手続き面の改革によってこのプロセスを方向転換し、新たなアイデアによって維新するために、そこに残っている善意を活かしていくという好機を活用すべきである。

NAIAは、最近活発になっている「Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs: 各国の実情に合わせた適切な緩和行動)」に関する議論との親和性が高い。ダーバンでのCOP17の後、地政学的に見たUNFCCC加盟国の多数派(途上国)が嗜好する方向性として、NAMAは京都議定書型の世界条約モデルを急速に代替し始めているように思われる。NAMAに基づく世界の政策モデルにおいてNAIAは、各国それぞれが納得したコミットメントを実施していくための手段として機能することになる。NAMAとNAIAは、政治的に望ましい将来の国際的交渉成功にむけて実質的な要素を提供することになり、排出削減と気候変動への適応の両方において成功をもたらすことになるだろう。

これをいかにして達成すべきかについては、次章で詳細に議論する。

4. 国際レベルのアクションに向けたハートウェル・グループの選択肢

(i) 京都議定書体制の失敗から前向きな教訓を汲み取り応用する

京都議定書は、国連の核拡散防止条約と米国の硫黄排出量取引制度に、フロンガスに関するモントリオール議定書の要素を加えた、ハイブリッド条約として創られたものだが、解決を目指した「厄介な問題」に対して、それは一貫して間違っただけで適用されてきた⁵²。京都議定書が失敗した理由としては、根本的な構造の不整合という理由に加えて、外交手続きに関連する以下の3点が挙げられる。

第1に、このアプローチのトップダウン型の性格は、各国固有の状況に十分な配慮をしていなかった。具体的には、化石燃料を代替する低炭素エネルギーに対して、より多くを支払う能力とその意欲に関して、各国間には差があるという事実である。

第2に、先進国と発展途上国の経済的なパワーバランスが、京都議定書が合意された1997年から、第二約束期間が始まろうとする2012年末までの15年間に、劇的に変化したという事である。

最後に、京都議定書が設定した排出量削減目標は、政治的なリーダーや有権者が十分に手頃であると思うコストでそれを達成できるような低炭素技術が欠如している状況下では、非現実的だったという事である。

これら全ての要因が相まって、政治家の間に、京都議定書の順守は国の経済競争力を毀損し、富を破壊して、実際に京都議定書が世界の排出量にもたらすであろう効果とは不釣り合いな損害を引き起こすとの認識が広がった。結果的に彼らは間違っただけではなかったと言える。2007~08年の経済危機を受けて、多くの国が、京都議定書が各国の競争力に与える影響について、もはやそれが現実であれ単なる思い込みであれ、政治的にも経済的にも容認できるものではないと判断するに至った。中国やインドなどの新興国は、京都議定書の義務を遂行しようとするれば経済発展が制約されるとする一方で、米国を始めとする先進国は、そうした新興国の強いコミットメントがなければ公平性を欠き、合意の効果が希薄化するとしている。

議定書に調印した諸国では、既存の低炭素技術を使って目標を達成するための費用負担と、それが非締約国との間で競争力の低下に繋がるという認識から、取り組みの熱意が低下し政治的な支持を失ってきている。これらの要因が相まって外交上の手詰まりを引き起こし、結果としてUNFCCCの組織としての衰退と、日本、中国、ロシアなど主要排出国の第二約束期間への参画拒否につながった。

UNFCCCの外交プロセスを、より穏当で成功の可能性が高いものに刷新するために、この歴史からどのような教訓が学べるのだろうか？我々は以下7つの点があると考えている。

第1に、国際的なプロセスでは、あらゆる産業・セクター、および国の、それぞれにおいて炭素強度を低下させる事で、世界全体の炭素強度低下を図るという、ボトムアップ型のアプローチを採用すべきである。炭素強度を低下させるために使われる技術は、各産業によってそれぞれ特定され、地域的に適切な形で広く共有され、採用されていく必要がある。各産業、各セクターにおける炭素強度の目標は、現状の炭素強度と、商業的に利用可能な既存技術適用のポテンシャル、および技術革新の現状と将来予想に基づいて設定することができる。全ての産業・セクターの目標の集計が、各国がボトムアップによって自ら設定すべき目標を与えてくれることになる。ここでは各国政府の国家主権を尊重することが、成功に繋がる。そうした目標が、産業・セクターおよび競合企業の協力の上で、自主的に設定されることで、目標達成の蓋然性が高まるのである。

第2に、国際的なプロセスではトップダウン型の目標設定を廃止し、その代わりに、セクター毎の低炭素化目標、研究開発費拠出目標、および炭素強度目標などの、より幅広い進捗指標を採用すべきである。各国の主権を尊重した現実的なアプローチは、既に排出削減の分野で様々に試行され、多大な成功を納めている。APECの指導者達は、2020年までにエネルギー効率性を25%改善することについて2007年に合意した。彼らは4年後のホノルル会議で、その後の状況変化や、技術や経済情勢の変化に対応して、目標を2035年までに45%の効率改善へと引き上げる事で合意した⁵³。

第 3 に、そうした枠組みは、必ずしも法的拘束力を前提としない「測定、報告及び検証 (MRV)」の制度と、相互評価 (Peer review) の方法論を伴った、透明性のある手法に基づいて、炭素強度の改善を促進するように構築されなければならない。形式論よりも結果が重要なのである。過去の UNFCCC の交渉が示すように、約束することを目的として、「法的拘束力」のある約束を追求する事は非生産的である。米国とカナダは、両国合わせて世界の炭素排出量の過半を占めているが、両国共、法的拘束力のある何らかの合意を受け入れることは考えにくい。

ここでも APEC の例は教訓になる。各国が受け入れたエネルギー効率改善に対するコミットは、強力な相互評価プロセスを伴ってはいるが、法的拘束力はない。もしもある国が目標を達成できなくても、相互評価プロセスによって、達成ができなかった国に罰則を課すわけではない。もし罰則が課すということであったならば、主要国のいくつかは恐らくこれに参加しなかっただろう。ここでは目標を達成できない国はむしろ、他の参加国のベストプラクティス (最善事例) を根拠とした、詳細にわたる政策提言を受けることになるのである。

第 4 に、将来の枠組みでは、グローバル、地域、多国間、二国間、セクター間といった、あらゆる規模と形態にわたった、広範な参加者が関わっていくことになる。国連は、ルール制定や相互評価プロセスの管理といった分野で、依然として役割を担うことになるだろうが、より大きな管理の役割が他の組織にも回ってくる。東アジア低炭素成長パートナーシップ、東南アジアサミットにおけるエネルギー効率イニシアチブ、APEC などの地域ごとのプロセスが、それぞれ担う役割は大きい。クリーン開発と気候に関するアジア太平洋パートナーシップ (APP) /エネルギー効率に関するグローバルパートナーシップ (GSEP) といった、セクター別の活動や、鉄鋼・セメント・化学・アルミニウムなどの国際業界団体による自主的な低炭素イニシアチブ、さらには日本が進めている二国間のオフセット・クレジット・メカニズム (後述) も、その役割を果たすことができる。技術開発・普及と HFC 廃絶に向けた米中間の最近の合意についても、米中関係がこうした外交を可能とするように引き続きオープンなものであり続けるとすれば (そうであるとは限らないが)、担うべき役割は大きい。こうした「プロセスの細分化」を容認することは、現実主義に基づく外交に繋がり、ひいては具体的な結果に向けた前向きな一歩となるだろう。

第 5 に、世界の排出量トレンドを見たとき、大気中の二酸化炭素濃度が今後数十年間で、ほぼ間違いなく 450ppm を超えるという事を、初めに認める必要がある。そうした可能性に目をつぶることは無責任である。マウナロア観測所は 2013 年 5 月 9 日に、世界の大気中の二酸化炭素濃度を 1958 年から測定しているキーリング曲線 (測定開始時は 318ppm) が、日次平均で 400ppm を超えたことを確認した。これを素直に受け止めることのプラス面は、このトレンドを遅らせるための低炭素技術と、21 世紀後半までにこのトレンドを反転させるためのネガティブ・カーボン (炭素吸収) 技術の開発に、頭脳と資金をより一層集中する動機を与えてくれるという事である。

第 6 に、次世代の低炭素技術の発明 (Invention) に向けて、より一層の努力を傾注すべきである。これまでの国際交渉では、新規技術の開発よりも、既存技術の移転に偏って焦点が当てられてきた。技術移転に関する論争では往々にして、知的所有権 (IPR) に関する無益な議論が支配的であった。先進国と途上国の双方の関係者による国際協力には、いまだ拡大の余地がある。こうした技術開発に向けた取り組みは、国連の外で、既存の多国間および二国間のチャンネルを通じて進められた方が、上手く行く可能性がある。

第 7 に、二酸化炭素レベルが引き続き上昇していくのに伴い、気候変動に脆弱な国々と、その国民の適応力と安全確保が、重要になってくる。気候変動に適応するために賢明なアクションを取ろうとするのであれば、大規模な削減が上手く行かない可能性についても認める事は、倫理的・政治的な前提条件となる。更に言えば、我々が 2010 年のハートウェル・ペーパーで強調したように、適応の必要性は将来の懸念事項ではなく、現在の課題なのである。多くの人々が現在の気候状況に対して対応できていない中では、予測不能の極端な気象現象に対して、その原因が何であれ、全てのコミュニティの対応力を改善していく必要がある。

京都議定書の第二約束期間は、世界の排出量の 20%未滿しかカバーしておらず、それに向けた熱意とコミットは日を追って低下しているように思われる。UNFCCC のプロセスは事実上、ドーハの COP18 で旧体制から新体制に向けた橋を渡った。UNFCCC における既得権益勢力は、引き続きトップダウン型で目標至上主義のアプローチに対して強くコミットしているが、この旧体制のアプローチは実際には（二酸化炭素削減のみに焦点を当てた）一点集中型のプロセスであり、今や手詰まり状態にある。更に言えば、UNFCCC で提案されている様々なアクションに伴うコストを誰が負担するのか、あるいは交渉プロセスを継続するための費用についてさえも、誰が負担するのかについては不透明であり、UNFCCC 内部でも合意されていない。COP18 では約 190 の国（と地域）がドーハに集結したが、国連プロセスに新たな方向性が必要であるとの認識については、各国政府から強い反対意見はない。わずか数年前の状況とは大違いなのである。

欧州の一部の諸国は EU の事務局とは異なる、新たなアイデアを模索している。途上国の政府はその意見を変えてきているように見え、一段と前向きで現実的になってきている。多くの環境団体は全ての新しいアイデアを引き続き拒否しているが、一部の組織は変化の必要性を受け入れる兆しがある。

NGO の台頭は、UNFCCC 特有の問題を明らかにしてきている。例えば世界貿易協議のような国際的な交渉は、元来無秩序となりがちであるが、気候変動の交渉は「超々無秩序」と言ってよいだろう。その一因は、政府の交渉担当者が、単に他国の政府交渉担当者と交渉するだけでなく、今や最新のメディアを通じて議論をほぼリアルタイムでフォローし、同時に広く報道される様々な意見を通じて交渉に介入できるようになった、世界中の人々とも交渉していくことを強いられているからである。非常に多くの無秩序なインプットが寄せられることで、交渉の過程は当然のことながら、単に複雑である以上に混乱する。一つのサッカー場で同時に複数のチームがプレーするだけでなく、観客までもが入り込んでいて、誰もが同じボールでプレーしているようなサッカーの試合は、審判にとっては言うまでもなく、外から展開を追うのも容易でないことは必定である。

京都議定書がここ数年、瀕死の状態にあることを考えると、この状況から早く脱し、交渉の超無秩序な混乱を克服する事は何よりも重要となっている。一方で、気候変動のリスクを低減して、その影響に対する社会の抵抗力を高めるための国際的な協力と、各国の努力を拡大するという UNFCCC の目的は、よく知られたその弱みにもかかわらず、依然として大変重要なものである。

導入目標、キャップ・アンド・トレード、クリーン開発メカニズム（CDM）、技術移転、CO2 換算排出量の統一のアプローチなどといった、UNFCCC が従来から使ってきた様々なツールは、いまや十分なものではない。NAMA や、ここで新たに提唱している NAIA による、「Pledge & Review（自主的コミットと検証）」方式こそが望ましい道筋であり、それは各国が自らの開発目標を満たしつつ、自国の排出量を可能な限り速やかに最大限削減するということを目指すものである。

しかし、各国の野心性の強化、排出削減や適応の目標引き上げに対する能力の向上は、発明と技術革新の成果次第であり、それらがなくしては成功はおぼつかない。つまり、既存の技術オプションの改良や新技術の開発がなければ、排出削減に向けたより野心的な試みを促そうという意欲は、納税者や消費者が負担を厭わないようなコストでそれらを実行する事ができないため、ほとんど湧かないないだろうという事である。

UNFCCC の核心に据えられた「変革の法則」は、キャップ・アンド・トレードやクリーン開発メカニズムといった不適切なツールの利用に繋がる「規制の政治学（Politics of Limits）」なのであり、それはこれまで成功をもたらしてこなかった。我々はそれに代わるものとして、技術革新と NAIA を推進するという事を「変革の法則」として据えることを目指すべきである。UNFCCC が存続するか否かにかかわらず、一段と魅力的で有効かつ政治的に受け入れ可能な、将来への道筋を提供してくれる、新たな枠組みが必要なのである。

かつて、米国は UNFCCC から関心の焦点を「アジア太平洋パートナーシップ（APP）」に移そうという方向性を打ち出し、オーストラリアと日本がそれを強力に支持したことがある⁵⁴。この取り組みはその後前進し、参加した産業界によって検証のためのプロセスを確立し、また特定の形態のエネルギー

からの排出量を計算する方法論のリストも準備された。しかし、オバマ大統領が就任すると、アジア太平洋パートナーシップ (APP) は廃止され、オーストラリアでも政権が交代した。APP の後継活動となった「クリーンエネルギー大臣会合 (Clean Energy Ministerial)」は、外交的あるいは社会科学的取り組みというよりも、より技術的な取り組みになっている。そのクリーンエネルギー大臣会合の下で、「エネルギー効率に関するグローバルパートナーシップ (GSEP : Global Superior Energy Partnership)」がスタートしている。現状では GSEP を前進させるための政治的な後押しが欠けているものの、UNFCCC よりも関係国の数が少なく、従って上述の激しい無秩序の混乱の悪影響を受けにくいこともあり、潜在的には前進する可能性を持っていると思われる。

ダーバンにおいて日本政府は、今後小グループの二国間イニシアチブを重視していくと発表し、国際交渉の条件を変えることに貢献した。それはまた、各国が UNFCCC の枠組みの外で協力的な成果を示していけば、UNFCCC 内の交渉官にも影響を与え、主要排出国でもある新興国にも影響を及ぼす可能性があるという事も示している。

野心的な現実主義は、地球環境に及ぼす影響が少ない、高エネルギー社会の実現に向けた、持続的な成長のための道筋を示している。上述の京都議定書から得られる 7 つの教訓は、将来への架け橋として、より現実味のある外交プロセスの構築に貢献しうるものである。しかし我々は慎重でなければならない。京都議定書時代の誤りを繰り返してはならず、「長すぎる橋」を架けようとしてはいけない。交渉官や外交官は、(架けようとしている) 橋に現実性を見出さなければならないのである。とりわけ我々は、新たな解決策が「ハイテク」でなければならないとか、あるいはトップダウンで実施されなければならないという、ありがちな誘惑に対しては、断固抵抗していかななければならない。

(ii) 新技術の移転における様々な関係者の利害を認識し、それに対応する

世界のいかなる排出削減戦略も、それが先進国であれ途上国であれ、低炭素技術を先行して採用した国から、採用が遅れている諸国への技術移転を伴わなければ、その成功はおぼつかない。従って次世代の技術移転スキームに対しては、より大きな関心を注ぎ、その制度強化に注力していく必要がある。

そうしたスキームには様々な形態があり得る。有望な一つのモデルは、クリーン開発メカニズム (CDM) を簡素化した発展形としての、二国間オフセット・クレジット制度である。このモデルでは、低炭素の先端技術を持つ国が、その先端技術を普及の遅れている国に移転し、その見返りとして、実現した排出削減量「クレジット」の配分を受け取る。このモデルは、今後の望ましい手段として日本がダーバンの COP18 で発表したものである。こうした新しいスキームは、メリットが明らかであるにもかかわらず、京都議定書下の現行 CDM 制度では認められていない。このスキームでは、現在の CDM 制度と比べて、クレジットの発行や流通に対する官僚主義的な手間が軽減され、CCS や CCU、あるいは超々臨界石炭発電など、他の手段では軽減できないような化石燃料使用による悪影響を、大幅に軽減する様々な低炭素技術に適用可能となる。この二国間のオフセット・クレジット制度については、エネルギー集約型の産業セクターが特に関心を示している。そうした産業セクターでは、多くの経済大国において今なお、利用可能なベストな技術 (BAT) から場合によっては何十年も遅れた技術が使われている現実がある。

UNFCCC を通じた技術関連の交渉全般にわたって、最も重要かつ意見の割れる問題の一つとして、知的所有権 (IPR) が浮上している。先進国が、技術開発に対するインセンティブを提供するためには、強力な知的所有制度を維持する事が絶対不可欠であると強く主張する一方で、途上国は、そのような制度が技術移転を損なう最大の障害である、と主張している。「知的所有権に関する貿易的側面に関する協定 (TRIPS)」を模した、環境保全技術の無償ライセンス供与制度が、倫理的にも、政治的にも、経済的にも望ましいと途上国は主張している。

この議論で欠けている視点は、一部の極端な主張は脇に置くとしても、こうした技術移転政策によって、数十億もの人々に持続的にエネルギーを供給できるほど、十分に高性能、低コスト、低炭素な

エネルギー技術を、我々はまだ持ち合わせていないという単純な事実である。エネルギーの技術革新は促進されなければならないが、そのための収益を確保するためには、知的所有権の保護が不可欠であるというのが常識である。そうした保証がなければ、エネルギー技術革新に向けての研究開発に、十分な民間資金は流入しないだろう。つまりこれはトレードオフの関係であり、市場におけるインセンティブ構造を無視するような迷いは避けなければならない。

この議論において過小評価されているのは、今後数十年間で必要とされる多くの省エネ、低炭素エネルギー技術が、特定の医薬品の化学組成のように、それぞれ独立した技術ではなく、様々な知識の総合体になるということである。従って、ある分野で目覚ましい成功を収めている産業（医薬品業界はその顕著な例）も、ここでは先行モデルとして意味を持たない。我々が追求しているエネルギー技術革新は、「システムのシステム」なのであり、既存の社会構造に「組み込まれて」いくべき、様々な材料や力学の組み合わせなのである。従って、エネルギー技術の移転には、単純な特許ライセンスに加えて、製造と運用に関する複雑なノウハウの移転がかかわってくる。これは新技術の出し手と受け手との間の、密接かつ協力的な連携によってのみ、達成可能なプロセスである。

こうした理由から、もし途上国政府が主張するように、先進国の企業による重要な新技術の独占が技術移転を実際に阻害しているのだとすれば、それは全ての利害関係者が合意できる方策を協議することによってのみ、解決されることになる。度々議論されてきた「強制的ライセンス」は、特許の移転を強いることはできたとしても、当該技術を製造・運用していくために必要な、あるいはそれらを既存の複雑な社会システムに組み込んでいくために必要な、運用面への深い理解が伴わないため、失敗を免れないだろう。

(iii) 既に自然発生しているエネルギー技術革新の世界的な分業の結果を取り込む

エネルギーシステムの新技術の流れは、歴史的に見ると西側から東側へ、そして北（先進国）から南（途上国）へというものであったが、現在のエネルギー技術革新の生態系は、より豊かになっており、流れが多様化している。これはエネルギーシステムの成長が、主に西側諸国以外で起きていることと、新しいシステムが実際に構築されている地域で、技術革新が起きる可能性が高い、という事実起因している。またそれは世界の知識創造そのものが、広く分散化してきているためでもある。

中国ではエネルギー需要が急拡大しており、近代的な電力網、再生可能エネルギーシステム、および先端的な原子力発電所の急速かつ大規模な建設が行われている。またエネルギー効率、合成燃料、二酸化炭素回収・貯留（CCS）、二酸化炭素回収・活用（CCU）に関する実験も行われている。世界の意欲的なエネルギー企業は、中国で革新的な技術や方法を買収し始め、新技術の促進を図っている。また中国の科学研究拠点は拡大しており、西側との結び付きを増やしている。その結果、中国は今でも世界的に見て有望な試験場であり、新規技術の孵化器（インキュベーター）となっている。そうした技術の一部は西側で開発されたものであるが、それらは中国のニーズ、スピード、コスト優位性、および資金力のおかげで、使用される過程で改善されてきている。他のアジア諸国の中では、韓国が自国の増大する電力需要を満たすために、原子力技術の革新者として浮上してきており、海外でも競争力ある価格で原子力発電所を建設している、と報道されている。日本も先端的な原子力技術と専門知識を、ペルシャ湾岸諸国、東南アジアなどの途上国や、ポーランド、トルコなどの一部先進国へ輸出することを目指している。

しかし、新システムの建設や利用経験を通じて体得した技術革新が、話の全てではない（これらは、19世紀の鉄道の創設者が学んだやり方ではあるが・・・）。米国は依然として基礎科学分野のイノベーションや、先端原子力、二酸化炭素回収・貯留（CCS）や二酸化炭素回収・活用（CCU）、エネルギー貯留、低炭素液体燃料、先端再生可能エネルギーなどについて、限定的ではあるが商業的初期導入の幾つかの事例における、世界的な中心となっている（その資金の一部は中国が提供している・・・）。米国はまた、広くエネルギー技術革新を支える素材科学、シミュレーションや制御分野、設計とエンジニアリングの専門知識分野における、世界の重要な知識センターでもある。

もちろん、中国と米国だけが世界の潜在的な技術革新の源ではない。停滞するエネルギー需要にもかかわらず、日本と欧州の一部では、環境政策および社会政策に基づき、風力発電や太陽光発電といった不安定な再生可能エネルギー源を（恐らくは達成不能なほど）大量に、電力網に統合する試みが行われている。その結果の如何にかかわらず、そうした努力は、そのプロセスを通じて送電網運用や負荷平準化技術における、多大な技術革新をもたらす公算が高い。中東アラブ諸国の一部は、先端的原子力発電や太陽光発電、石油増進回収法のための炭素利用（CCS）に、膨大な資金を注ぎ込んでいるとみられている。イスラエルの新興企業は、自動車の電氣化と太陽光温熱技術において、多大な進歩を見せている。

今必要とされているのは、ここでまさに紹介したような、それぞれ独立しながらも相互補完的な取り組みがもたらすエネルギー技術革新に対する、十分に練られた国際分業体制なのである。そこでは技術毎に必要とされる対処法は異なり、各国がそれぞれの能力に応じて貢献することになる。目指す技術が未だに基礎研究段階にある場合には、CERN の大型ハドロン衝突型加速器のように、多額の資金拠出を伴った国際的な研究コンソーシアムが適切だろう。そのようなイニシアチブは、莫大な費用を国際的に分担し、広範囲な人的・資金的資源を結集して行われる。それによってリスクと重複を軽減し、協力関係を強化することができるのである。このような初期段階にある技術の候補としては、核融合、宇宙太陽光発電、マイクロ波送電などの「青天井（blue sky）」技術が挙げられる。

目標となる技術が、より進んだ開発段階にあり、その主要課題が応用分野にある場合、地域や国、民間セクターで開発が進められるべきである。それと同時に、既述した APEC におけるイニシアチブのような、情報共有化と進捗報告のための世界的なフォーラムによって、プロジェクト間の競争と協調を推進し、それによって開発プロセスを加速すべきである。

セクター・アプローチは、特に電力、鉄鋼、セメントなどのエネルギー集約度が高い産業セクターにおいて進められるべきである。これらの産業セクターのエネルギー専門家は、共通の技術的背景を持っているため、相互ベンチマークを進めたり、技術移転における課題の解決策を追求していく能力を持ち合わせている。セクターベースのアプローチにより、現在利用可能なベスト技術（BAT）を世界中で急速に普及させ、セクターが必要とする、新たな低炭素技術の開発を促進することができる。既に述べた「クリーン開発と気候に関するアジア太平洋パートナーシップ（APP）」は、そうしたセクター別の作業部会を設置して、重要な成果をもたらした。電力セクターと鉄鋼セクターのメンバーは、APP の作業部会の下で開発された、炭素強度とエネルギー効率性に関する共通の計算手法を用いて、集中的な相互評価（peer review）やエネルギー診断等を実施した。メンバー間で共有することを目的とした、最良事例（best practice）と技術のハンドブックも制作されている。こうしたアプローチに価値があるのは、これらのハンドブックが、対象技術を実際に使用し運用する業界の専門家によって制作され、従って実用性とその効能が保証されているという点にある。APP の下で開発された製鉄所の炭素強度計算手法はその後、ISO として国際標準化され、アジア太平洋パートナーシップ（APP）加盟国以外にも普及していくことを可能としている⁵⁵。

結論

(i) 野心性 (ambition) の将来

「野心性」は、政治家が最も愛する言葉の一つである。「野心」は楽観主義を思い起こさせる言葉であり、それを適用したあらゆる対象に魅力的な輝きを付与できるので、政治家は多用したがる。またそれは確固とした信念を想起させてくれる。敵対的な政治論争においては、自身の「野心性」を主張する事は、それだけで相手の反論に（臆病との）汚名を着せることができるため、足元をすくう効果がある。

「野心性」に関する議論は、過去数年の気候変動政策に関する議論の中心にあり、気候変動へのアクションに対する各国のコミットの強さ、そして暗にその倫理的な優位性について評価するための指標とされてきた。しかし我々としては、この「野心性」を多用することは、野心的でも何でもないと言わせていただきたい。それは単なる希望的主張にすぎないのである。本論文で指摘してきたように「野心性」を主張することには、「期待」を「事実」と、「勇ましい発言」を「実際のアクション」と、「制度の制定」を「実社会における成果」と混同させることで、意思の勝利という美酒に訴える魅力がある。

そのような美辞麗句は、何の役にも立たないと我々は考えている。それは、真に生産的な意味での野心性とはどのようなものであるかに関しての、大いなる誤解についてもさらけ出している。

生産的な意味での「野心性」とは、そのラテン語の語源（『ambire』～歩き回ること、政治的な支持を求めて訪ねること）が示唆するように、可能性に対する慎重な探求、そしてここが重要な点であるが、価値のある具体的な結果をもたらすために人々の合意を獲得すること、を意味している。このことを念頭に置くと、間接的なアプローチを取り、かつ人々の合意を前提とした、徹底した厳しい現実主義（プラグマティズム）こそが、実は最も「野心的」なアプローチである、と言えるのではないだろうか。ハートウェル・グループの重要な原理である、「ケイパビリティ・ブラウンの原則」に即して言えば、未踏の迂回路を提供してくれる様々な可能性に対して、我々の目と意識を開く事によって（『ambire』）、我々は地球に対する人類の爪跡を軽減しつつ、繁栄していく世界を創造するチャンスを拡大できるのである。2010年のハートウェル・ペーパーにおいて、我々はいくつかのオプションを示したが、その後それは注目を集めるようになった。本論文にもその事例が満載されている。2013年の本論文”THE VITALSPARK”において我々は再度、より優れた施策に対する指針を提供することを目指したのだが、今回は政治の分野ではなく、発明（Invention）と技術革新（Innovation）の分野における指針を示すものとなっている。

(ii) 将来に向けての野心性(ambition)

本論文で我々は、技術革新（Innovation）に対する、常識や政治的な思い込みにおける誤りを評価、指摘した上で、様々な制度レベルにおける具体的な是正策を提案し、それらが支持されるべきであると主張してきたが、本論文が生産的かつ劇的であるという意味で「野心的」なものになっていると自負している。ハートウェル・グループのエネルギー技術革新に対するアプローチの基礎となっている、11の構成要素についても論じてきた。その構成要素に基づき、我々はエネルギーに関する新技術の普及を加速する政策主導の取り組みの多くが、その概念的な設定が狭すぎるために成功していないと結論づけた。従来の設定されてきた概念枠組みでは、何が必要か（工学上の技術革新と発明）と、何が十分か（エネルギーが供給されるべき状況の多様性と、それを受け取る人々彼らの求めるものの多様性に対して、全面的に対応すること）とを取り違えていたのである。持続可能な大きな社会変革というのは、何よりも人々自身が自ら選択すべき問題なのである。従って我々は、そうした技術的变化によって影響を被る人々の視点から見た納得性を確保するためには、広範囲で体系的な評価プロセスが必要であると論じてきた。なぜなら、こうした人々からの信頼が得られなければ、改革を成功させ長期的に維持させることはできないからである。

もし我々が、世界の人々が自発的かつ永続的に低炭素技術を嗜好することを願うのであれば、そうしたエネルギーが従来の高炭素エネルギーと比べて、経済的に有利であるか、少なくとも同等である事が不可欠なのである。（環境改善に向けて支出する意欲が多少なりともあるといっても、結局それは大した金額ではなく、ましてや強制された支出などありえないということが実証されている。）従って、施行される政策は、発明者や革新者たちに対して、研究開発における最大限の自由を与える一方で、彼らの究極の目的がコスト効率の改善を実現することにあるという事に対して、いささかの疑いも挟まれないようにしなければならないのである。**全体の繁栄だけが、排出削減に対する広い支持を取り付けることができ、全ての人々にとって手頃な価格のエネルギーを提供することだけが、繁栄をもたらす得るのである。**

1968年12月、アポロ8号に搭乗した宇宙飛行士のカメラを通して、人類は初めて「地球の出」を目にした。我々の地球が漆黒の宇宙を背景に青く光り輝いており、それは宇宙飛行士が目にした唯一の色彩であった。我々がここで論じてきた、今人類が必要としているエネルギー転換を支える11の構成要素という概念は、あの有名な写真が見事に、かつ優雅に表現した、我々人類の運命の不可分性、運命共同体としての地球という感覚に共感して描かれたものである。「厄介な問題」の世界において、技術ブレークスルーを達成する事業の複雑さは、人類を宇宙に送り出す挑戦を遥かに凌いでいる。しかし、アポロ8号の宇宙飛行士が地球へ持ち帰ってきた素朴な洞察は、人類が何故、如何にして前に進み得るかについて、我々が理解していくのに役立つことだろう。

(完)

注

¹ *The Hartwell Paper: A New Direction for Climate Policy after the Crash of 2009*,

<http://www2.lse.ac.uk/researchAndExpertise/units/mackinder/theHartwellPaper/Home.aspx>

² M.E.Caine & S.Rayner (eds), *The Hartwell Approach to Climate Policy*, Oxford: Earthscan, 2013 (Forthcoming).

³ 'Tracking Clean Energy Progress', IEA. April 2013. <http://www.iea.org/etp/tracking/>.

⁴ H. Rittel & M. Webber, 'Dilemmas in the General Theory of Planning', *Policy Sciences* 4, 1973, pp. 154-59.

⁵ S. Arrhenius, 'On the influence of carbonic acid in the air upon temperature of the ground', *The London, Edinburgh & Dublin Philosophical Journal and Journal of Science*, Fifth Series, April 1896.; Otto, 'Energy budget restraints on climate response', *Nature Geoscience*, 19 May 2013

⁶ J. Jenkins. 'Energy Emergence: Rebound and Backfire as Emergent Phenomona,' Breakthrough Institute 2011, http://thebreakthrough.org/blog/Energy_Emergence.pdf

⁷ W.S. Jevons, *The Coal Question* (2nd ed.), London: MacMillan, 1866.

⁸ 国際エネルギー機関、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）、英国のエネルギー・気候変動省（DECC）は、温室効果ガス排出に対するエネルギー効率の効果に関する非変実的な主張を維持しようと試みた。このことは、主に以下の主張によって確かめられた。Jenkins, 'Energy Emergence: Rebound and Backfire as Emergent Phenomena', 2011; Maxwell, 'Addressing the Rebound Effect, a report for the European Commission DG Environment', 2011; REF, 'Shortfall, Rebound, Backfire: Can we rely on energy efficiency to offset climate policy costs?', 2012.

⁹ 'ETS.RIP?', *The Economist*, pp. 67-68, 20 April 2013.

¹⁰ 例えば、2010年のハートウェル・ペーパーは不完全燃焼による黒色炭素の削減に対する関心を優先させるよう推奨した。その後、高緯度地域の氷溶解に対する黒色炭素の重要性は、徹底的に論じられてきた。特に D. Shindell, 'Simultaneously Mitigating Near-Term Climate Change and Improving Human Health and Food Security', *Science* 335 (6065), 13 January 2012, pp.183-189.

¹¹ R. Pielke Jr, *The Climate Fix: What Scientists and Politicians Won't Tell You About Global Warming*, New York: Basic Books, 2010.

¹² The Copenhagen Accord, 18 December 2009; ADP Workstream 1: 2015 Agreement, Submission of the United States, 11th March, 2013、参照

¹³ 現時点では原油、石炭、天然ガスが、世界の一次エネルギーの 87%を占めている。残りは、原子力（4.9%）、水力（6.5%）、水力以外の再生可能エネルギー（1.6%）。全てのデータは、2012年版BPエネルギー統計（BP Statistical Review of World Energy）による

¹⁴ J. Schumpeter, *The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*, Cambridge: Harvard University Press, 1934 p 54

¹⁵ 2012年版BPエネルギー統計

¹⁶ *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC.*

¹⁷ 2012年版BPエネルギー統計

¹⁸ 同書

¹⁹ B. Plumer, 'Peak oil isn't dead: An interview with Chris Nelder', *The Washington Post*, 13 April 2013, <http://www.washingtonpost.com/blogs/wonkblog/wp/2013/04/13/peak-oil-isnt-dead-an-interview-with-chris-nelder/>

²⁰ US Energy Information Administration, 'Levelized Cost of New Generation Sources' in *Annual Energy Outlook, 2011*, Table 1. Central estimates include: combined cycle gas (\$63-66/MWH); coal (\$94-109/MWH); advanced coal with CCS (\$136/MWH); advanced nuclear (\$113/MWH); onshore wind (\$97/MWH); offshore wind (\$243/MWH); Solar PV (\$210/MWH); Solar Thermal (\$311/MWH)、参照

²¹ A. Purvins, 'Challenges and options for a large wind power uptake by the European electricity system', *Applied Energy* 88(5), May 2011, pp. 1461-1469; P. Denholm and M. Hand, 'Grid flexibility and storage required to achieve very high penetration of variable renewable electricity', *Energy Policy* 39(3), March 2011, pp.1817-1830; MIT Energy Initiative Symposium, 'Managing Large-Scale Penetration of Intermittent Renewables', April 20, 2011, <http://web.mit.edu/mitei/research/reports/intermittent-renewables.html>; Idaho Power, 'Wind Integration Study', February 2013, <http://www.idahopower.com/pdfs/AboutUs/PlanningForFuture/irp/2013/windIntegrationStudy.pdf>; C. Gibson, 'A Probabilistic Approach to Levelised Cost Calculations for Various Types of Electricity Generation' *Institute for Engineers and Shipbuilders in Scotland*, Edinburgh, 2011, <http://www.iesisenergy.org/lcost/>、などを参照

²² Energy Outlook 2030, BP, January 2013, <http://www.bp.com/extendedsectiongenericarticle.do?categoryId=9048887&contentId=7082549>.

²³ BP Statistical Review of World Energy, 2012; Data from World Bank, 2012: World Bank Databank, <http://databank.worldbank.org/>、参照

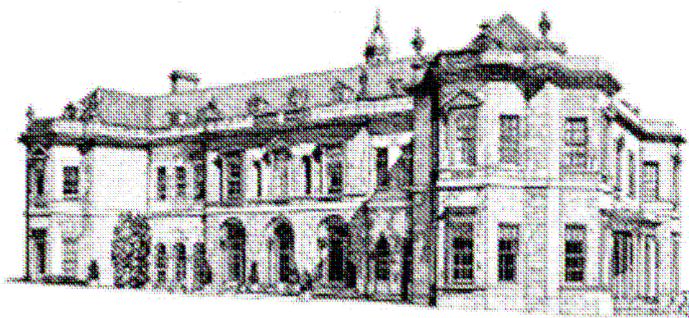
- ²⁵ J. Sweeney and A. Sudarshan, 'Deconstructing the Rosenfeld Curve', http://piee.stanford.edu/cgi-bin/htm/Modeling/research/Deconstructing_the_Rosenfeld_Curve.php#Project%20AbstractHe. Another, more recent, study suggests the effect of California energy policies was essentially zero. See A. Levinson, 'California Energy Efficiency: Lessons for the Rest of the World, or Not?', <http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic1121559.files/January%2030%20-%20Arik%20Levinson/CaliforniaEnergy.pdf>.
- ²⁶ U.S. energy-related CO₂ emissions in early 2012 lowest since 1992', U.S. Energy Information Administration (EIA), 1 August 2012, <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=7350>.
- ²⁷ J. Jenkins and S. Mansur, 'Bridging the Clean Energy Valleys of Death'. *The Breakthrough Institute*, November 2011.
- ²⁸ V. Smil, *Energy at the Crossroads*, Cambridge: MIT Press, 2003.
- ²⁹ H. Ausubel and H.D. Langford (eds), *Technological Trajectories and the Human Environment*. Washington: National Academy Press, 1997; A. Grubler, N. Nakicenovic, and W.D. Nordhaus, *Technological Change and the Environment*. Washington: RFF Press, 2002、参照
- ³⁰ V. Smil、前掲論文
- ³¹ H. Haberl, 'The Global Socioeconomic Energetic Metabolism as a Sustainability Problem', *Energy* 31(1), January 2006, pp. 87-99.
- ³² J.H. Ausubel, 'Energy and Environment: The light path', *Energy Systems and Policy* 15, 1991, pp. 181-188.
- ³³ M. Lynas, 'A Squandered Opportunity: Germany's Energy Transition', *The Breakthrough Institute*, 17 January 2013.
- ³⁴ A. Sopinka and L. Pitt, 'Variable Energy Resources: VErY Interesting Implications for the Western Interconnect', *The Electricity Journal*, 26(5), 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tej.2013.04.015>.
- ³⁵ P. Atherton, 'Future of Utility Finance in the 2010s', speech to Future Energy Strategies, 1 May 2012.
- ³⁶ そのような行動は C.Mackay, *Extraordinary Popular Delusions and the Madness of Crowds*, 1st edn, 1841、の記述が有名
- ³⁷ 'Tracking Clean Energy Progress', *IEA*. April 2013. <http://www.iea.org/etp/tracking/>.
- ³⁸ D. Shindell, 'Simultaneously Mitigating Near-Term Climate Change and Improving Human Health and Food Security', *Science* 335 (6065), 13 January 2012, pp.183-189.
- ³⁹ A. Trembath. 'Where the Shale Gas Revolution Came From,' *Breakthrough Institute*, May 2012.

- ⁴⁰ U.S. Energy Information Agency (EIA) *Natural Gas Data*, <http://www.eia.gov/naturalgas/>.
- ⁴¹ ‘Coming Home’, *The Economist*, 19 January 2013.
- ⁴² A. Trembath, ‘Where the Shale Gas Revolution Came From’, *The Breakthrough Institute*, 23 May 2012.
- ⁴³ National Energy Technology Laboratory, ‘DOE’s Unconventional Gas Research Programs 1976-1995: An Archive of Important Results’, U.S. Department of Energy, January 2007, <http://www.netl.doe.gov/kmd/cds/disk7/disk2/Final%20Report.pdf>; E.D. LaFeher, ‘The Effects of Section 29 Tax Credit on Energy and the Environment: A Cost-Benefit Analysis’, *Journal of Energy and Development* 17, 1993, pp. 1-22; R. Ames, ‘The Arithmetic of Shale Gas,’ *Yale Graduates in Energy Study Group*, June 2012, http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2085027.
- ⁴⁴ See Jenkins, ‘Beyond Boom and Bust’, *The Breakthrough Institute*, April 2012; ‘Utilities: Powerhouses of Innovation’, *Eurelectric*, 8 May 2013.
- ⁴⁵ [https://www.gov.uk/government/news/government-agreement-on-energy-policy-sends-clear-durable-signal-to-investors.](https://www.gov.uk/government/news/government-agreement-on-energy-policy-sends-clear-durable-signal-to-investors)
- ⁴⁶ 例えば、‘£286 Green Tax on Energy Bills’, *Daily Mail* 27 March 2013; and ‘Revealed: true cost of wind farms’, *Sunday Telegraph* 16 June 2013、参照
- ⁴⁷ A. Rip and R. Kemp, ‘Technological change’. In E.L. Malone and S. Rayner (eds), *Human Choice & Climate Change, Volume 2: Resources and Technology*, Columbus: Battelle Press, 1998.
- ⁴⁸ C. Freeman and F. Louca, *As Time Goes By: From the Industrial Revolutions to the Information Revolution*, Oxford: Oxford University Press, 2001.
- ⁴⁹ ‘Multiple benefits from investing in energy efficient renovation in buildings’, *Copenhagen Economics*, 2012.
- ⁵⁰ これが如何になし得るかについての詳細な議論は、Jenkins, ‘Beyond Boom and Bust’, *The Breakthrough Institute*, April 2012、参照
- ⁵¹ D. Helm, *The Carbon Crunch*, Oxford: Oxford University Press, 2012.
- ⁵² 京都議定書と気候変動の問題の間の分断の正確な本質は、G.Prins & S. Rayner, ‘The Wrong Trousers’, 2007 and G. Prins and S. Rayner, ‘Time to ditch Kyoto’, *Nature* 449, 2007, pp 973-975. This work led to the launch of the first phase of the Hartwell initiative, and the evolution of the analysis therein is further explained in M.E.Caine & S.Rayner (eds), *The Hartwell Approach to Climate Policy*, Oxford: Earthscan, 2013 (今後発表予定)、などで説明されている

⁵³ 'APEC Energy Overview', APEC, 2011, <http://aperc.iecej.or.jp/file/2012/12/28/Overview2011.pdf>.

⁵⁴ アジア太平洋パートナーシップの行動は、<http://www.asiapacificpartnership.org/english/default.aspx>、でさらに詳細に研究可能

⁵⁵ ISO 14404-1 for Blast Furnace process and ISO14404-2 for Electric Arc Furnace process were published in March 2013.



Hartwell House in Buckinghamshire, where the Royal Meteorological Society was founded in 1850 and where the Hartwell group was originally formed and has continued to meet since 2009.