

ERINA booklet

● エリナブックレット vol.7 2017.3

気候変動の緩和策—北東アジアからのブレークスルー

ゲオルギー・サフォーノフ
エンクバヤル・シャグダル



謝 辞

気候変動に関する国連枠組条約に基づくパリ協定では、地球温暖化防止を2℃までにくい止めるグローバル・ターゲットが明記された。このために、北東アジア各国はどこまで大規模な脱炭素化を進めることができるのか、本書はその評価に関する調査研究事業の成果である。文章やコメントで協力いただいた新井洋史 (ERINA)、甲斐沼美紀子 (国立環境研究所)、南川高範 (ERINA)、中村俊彦 (ERINA)、篠原建仁 (国際石油開発帝石株式会社 (INPEX))、フェイ・テン (Fei Teng、精華大学)、ヘンリー・ワイズマン (Henri Waisman, IDDRI)、2016年5~9月の間にERINAで行われたワークショップや専門家会合の参加者、その他大勢の方々に感謝申し上げます。特に、外国人招聘事業を行い、この共同研究を実現していただいたERINAに厚く感謝申し上げます。

目次

頭字語一覧

はじめに

第1章 気候問題の課題と世界的な気候条約

- 1.1. 世界の炭素ジレンマ 4
- 1.2. パリ気候協定－科学からビジネスへ 8

第2章 北東アジアにおける経済発展－自然体ケース

- 2.1. 歴史的な道筋と傾向 12
- 2.2. 社会経済発展の展望 18

第3章 炭素排出の趨勢と誘因

- 3.1. 趨勢 20
- 3.2. 誘因 22

第4章 北東アジアにおける気候にやさしい成長－幻想と現実

- 4.1. 大規模な脱炭素化コンセプト 26
- 4.2. 北東アジアの脱炭素化－未来からの視点 27
- 4.3. 異なる野心的目標と可能性－国別の状況 29
 - 中国 29
 - 日本 31
 - モンゴル 33
 - ロシア 35
 - 韓国 38
 - 北朝鮮 39

第5章 共にもっと出来ること

- 5.1. 域内協力で出来ること－「義務」vs「クリーンな」開発 42
- 5.2. 脱炭素化の努力を促進する共同作用 48
- 5.3. これから進むべき道 50

参考文献

頭字語一覧

BAU	自然体ケース (business as usual)
CCS	炭素回収・貯留 (carbon capture and storage)
CCUS	炭素回収・利用・貯留 (carbon capture, utilization, and storage)
CO ₂	二酸化炭素 (carbon dioxide)
COP21	国連気候変動枠組条約第21回締約国会議 (the 21st Conference of the Parties to UNFCCC)
DPRK	北朝鮮／朝鮮民主主義人民共和国 (the Democratic Peoples' Republic of Korea)
EJ	エクサジュール (Exajoule=10 ¹⁸ Joules)
FEC	最終エネルギー消費量 (final energy consumption)
GDP	国内総生産 (gross domestic product)
GHG	温室効果ガス (greenhouse gases)
GW	ギガワット (gigawatt)
Gt	ギガトン (gigatonne)
IEA	国際エネルギー機関 (International Energy Agency)
INDCs	各国約束草案 (Intended Nationally Determined Contributions)
IPCC	気候変動に関する政府間パネル (Intergovernmental Panel on Climate Change)
LULUCF	土地利用、土地利用変化及び林業部門 (land use, land use change and forestry)
MW	メガワット (megawatt)
Mt	百万トン (million tonnes)
Mtoe	百万石油換算トン (million tonnes of oil equivalent)
NEA	北東アジア (Northeast Asia)
OECD	経済協力開発機構 (Organization of Economic Cooperation and Development)
PPP	購買力平価 (purchasing power parity)
PV	太陽光発電 (photovoltaic)
Pkm	人キロ (person-kilometer)
R&D	研究・開発 (research and development)
RGGI	アメリカ・カナダ東部の地域温室効果ガス・イニシアチブ (Regional Greenhouse Gas Initiative of the Northwest state of the US)
ROK	韓国／大韓民国 (the Republic of Korea)
TPES	一次エネルギー総供給量 (total primary energy supply)
TWh	テラワット時 (terawatt-hour)
UN	国際連合 (United Nations)
UNFCCC	国連気候変動枠組条約 (United Nations Framework Convention on Climate Change)
kW	キロワット (kilowatt)

※本書（日本語翻訳版）ではDPRK、NEA、ROKをそれぞれ韓国、北東アジア、北朝鮮と表記する。

はじめに

地球温暖化は、21世紀の人類社会にとってもっとも緊急な課題の一つであると認められる。国際社会は、気候システムに及ぼす危険で人為的な衝撃を防ぐために、必要な行動を取ること に合意している。気候変動に関する政府間パネルの第5次評価報告書（2014）に基づき、UNFCCC締約国は、地球の平均表面温度の上昇を「2℃より十分に低く」抑えることを目指すパリ協定を採択した。

このように意欲的な「気候上の」目標は、炭素の排出を今世紀中に世界レベルでほぼゼロにまで削減するという空前の努力を求めている。さらに、温暖化を1.5℃以内に保つためには、世界全体の排出量を2050年までに（現在水準に対して）50%またはそれ以上に、その後は実質ゼロレベルにまで削減しなければならない。実際にそれは、ほとんどの国がGDPの成長と住民の生活水準を維持しながら、それぞれの経済活動、エネルギーシステム、産業、輸送、建築、製品、サービスを大規模に脱炭素化しなければならないことを意味している。

UNFCCCの下、先進国は率先して気候変動を緩和していくことに合意し、主要な先進国や新興国はここにきて炭素削減に相当の役割を果たし始めた。2010年代に入って、中国は米国を抜いて世界ナンバーワンのCO₂排出国となった。

中国、日本、モンゴル、朝鮮民主主義人民共和国、大韓民国、ロシア連邦で構成される北東アジア（NEA）地域は、124億トン以上のCO₂、あるいは世界全体のエネルギー関連CO₂排出量の約40%を排出している責任を負っている。これら各国は今や地球温暖化に対する大きな寄与国であり、さらにその割合を増していくだろう。この地域の莫大な化石燃料（石炭、ガス、石油）の伝統的な燃焼方法は、地球の温度を2℃上げるよりもはるかに多くの温室効果ガスを排出することになるだろう。

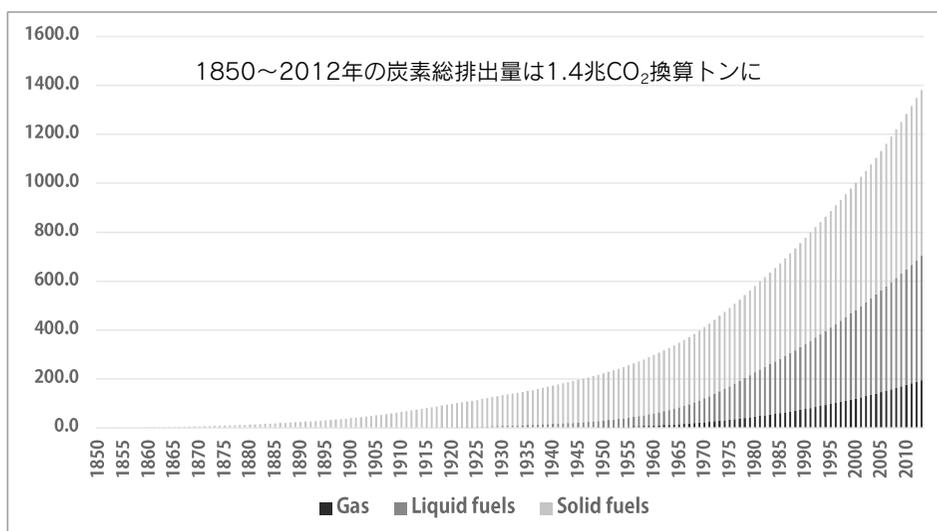
他方、先進技術、投資、インフラ開発が組み合わされた豊富な再生可能エネルギー資源（太陽光、風力、水力、潮力、バイオマスなど）は、パリ気候協定の目標・約束と十分に一致する持続可能な成長と発展を伴いながら、北東アジア各国を脱炭素化した気候や環境に優しい国に転換することができる。北東アジア各国の大規模な脱炭素化が遅れば、地域社会や生活を支援するエコシステムにとって大きな不安要素となり、ビジネス上の損失や資産の行き詰まり、そして世界的な技術的進歩の遅れを招くことになるだろう。

本書では、北東アジア地域全体としての大規模な脱炭素化の道筋における課題と可能性の分析が示される。多くの問題を提起するが、いまだにその解答は多くない。本書を刊行することにより、すべての関係国や関与国が、その経済活動、産業、消費行動、生活様式を、次世代のために地球を守り保全することが緊急に求められるのだという気候に中立的なパターンに転換する、新しく最先端の問題を検討し、議論を始めるようになることを希望する。

1.1. 世界の炭素ジレンマ

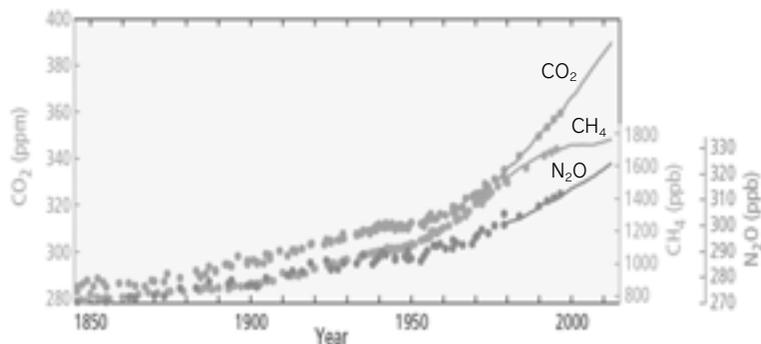
世界の気候は、太陽放射の変化、火山活動、地質変動、その他さまざまな原因によって常に変化してきた。しかし、科学者たちの合意を幅広く得たこととして、最近の気候変動の結果は主として新たな現象、すなわち地球を取り巻く大気における温室効果ガス（GHG）の人為的な排出の急増によって引き起こされている。1850年代に産業革命が始まって以降、人間社会はその経済、エネルギーシステム、輸送、インフラ、消費構造を劇的に変え、化石燃料（石炭、石油、ガス）が主要なエネルギー供給資源となり、科学者たちが確認していることであるが、高濃度のGHGの空前の増加を引き起こした（図1、図2）。

図1 燃料の燃焼による世界のCO₂排出累積量（10億トンCO₂）



出所：Carbon Dioxide Information Analysis Center database, <http://cdiac.ornl.gov/>

図2 世界の大气中GHG平均濃度の変遷



出所：IPCC, 2014a

アメリカ、ロシア（ソ連）、欧州諸国、日本、その他の国々の先導的な科学機関が連携して行った1970～80年代における気候プロセスの幅広い研究、そして地球温暖化のインパクトによる深刻なリスクの兆候が、結果として1992年の国際連合気候変動枠組条約（UNFCCC）の採択につながった。世界中の数千人の科学者からの情報を収集し、この点に関する最新の科学データを提供するため、気候変動政府間パネル（IPCC）が設立された。

最新の第5次評価報告書（IPCC, 2014b）は、地球がこれまで考えられていた以上に早く温暖化し、人為的なインパクト（炭素排出、森林伐採、その他）がそこに大きく影響していることを繰り返し警告した。もし我々が何もしなければ、地球の平均気温は2100年までに4～6℃上昇し、つまり、歴史的に受け入れられてきた通常のパターンからはまったく考えられないように気候が変化していけよう。ニコラス・スターン卿が率いる経済学者のグループは気候変動の経済学に関する特別報告をまとめたが（Stern, 2006）、それによれば21世紀における気候変動のインパクトによるダメージは「緩和策なし」シナリオで世界のGDPの5～20%に及ぶであろうと見積もった。

地球の年間平均気温は0.8℃上昇してきただけだが、我々はすでに気候変動のインパクト、時には非常に大きなものを観察できている。例えば寒波（極度の寒さから数百万頭の家畜が死んだ2010年のモンゴル）、熱波（3万人が不慮の死を遂げた2002年の欧州、何千人もの被害者・死者が出た2010年のロシア）、干ばつや洪水、森林火災、各地の暴風雨、砂漠化の進行、飲料水の不足、昆虫媒介の感染症（マラリア、脳炎など）の拡大、その他である。

2015年12月、パリの第21回UNFCCC締約国会議において、地球温暖化を世界の努力を通じて2℃よりできるだけ抑え、「今世紀後半に温室効果ガスの人為的な発生源による排出量と吸収源による除去の均衡を達成するために…世界全体の温室効果ガスの排出量ができる限り速やかにピークに達し…その後は迅速な削減に取り組む」¹とする新しい合意がなされた。

海面上昇や激しい降水量などの危機に直面する小さな島国のように被害を受けやすい国々を始め、すべての国が「2℃」目標に合意しているわけではない。それらの国々はより厳しい「1.5℃」目標と、先進国によるもっと強い行動を求めている。多少の不確実性はあるものの、気候目標は明確でわかりやすい目標に転換することができる。大気中のCO₂濃度は450 ppmを超えないレベル、すなわち産業革命以前の280 ppmより60%増えたレベルで安定されなければならない（IPCC, 2014a）。最近の記録では、我々はすでに2015年で400 ppmを超えた（Biello, 2015）。

IEAの『CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights 2014』によれば、「温室効果ガスの濃度がいかなるレベルで安定するにせよ、大気中のCO₂の寿命は長く、世界のCO₂排出を現在レベルより大幅に削減することが求められる」。このように、我々は経済成長と環境・気候の保全との二重の課題に同時に直面している。

北東アジア各国にとって、気候変動緩和策の課題は次のような実践的な考え方に整理される。すなわち、1) 各国の膨大な化石燃料をどうするか、2) 各国で、または域内を結ぶ協力を通

1 UNFCCCパリ協定（2015）第4章

じて、利用可能な非炭素エネルギー資源の大きな可能性をいかに活用するか、である。

石炭、天然ガス、原油、シェールオイル、シェールガス、メタンハイドレートなど、北東アジア各国における在来型及び非在来型化石燃料の既知埋蔵量は莫大な量で、1.7兆石油換算トンを超える（表1、図3～5）。これらの資源を採取・利用するための経済的で実施可能な技術をいまは持ち合わせていないとしても、科学技術の進歩はこれから10年、20年の内にそれらの利用を助けることになるだろう。すでに我々はシェールオイル、シェールガスの採取においてそれを目撃しており（アメリカにおけるいわゆる「シェール革命」がそれであり、シェールガス生産を2000年の1日当たり2.1百万立方フィート（bcf）から2016年の44.1bcf、現在の全ガス生産量の約40%相当まで伸ばした²⁾）、日本におけるメタンハイドレート利用に向けた努力の継続もある（2014年に最初の成功事業が行われ、2023年までに同資源の商業生産が予定されている³⁾。

「2℃」までのカーボンバジェット（炭素排出量の上限）⁴⁾はおよそ1兆トンに限られており、その半分以上はすでに利用されてしまっている。もしGHGの排出傾向が今のまま続けば、残り2040年までに使い切られることになるだろう。このことは、地球温暖化との戦いが、ほとんどの化石燃料を地中や海底に埋蔵したままにしておく必要があることを意味している。このことはまた、現在の経済発展や協力的行動のパターンから我々が期待できること、化石燃料資源が非常に価値ある資産であると考えられていることとは、正反対のものである。

恐ろしいことに、北東アジアにおけるすべての化石燃料を昔ながらの方法（炭素回収貯留を行わないなど）で燃焼すると、4.7兆CO₂換算トンを排出することになるといえる。言い換えれば、北東アジア地域だけで、世界が2℃の地球温暖化に達するよりも3倍ほどの温室効果ガスを排出できてしまうのである⁵⁾。

表1 北東アジア各国の在来型・非在来型化石燃料の概算埋蔵量

	石炭	原油	天然ガス	シェール オイル	シェール ガス	メタン ハイドレート
埋蔵量（10億toe）						
中国	79.8	2.6	2.9	90.2	94.9	100.0
ロシア（シベリア極東）	121.8	14.4	27.1	174.0	0.3	913.0
モンゴル	70	na	na	11.9	0.05	na
韓国	0.1	na	na	na	na	1.2
北朝鮮	3.2	0.1	na	na	na	na
日本	0.2	na	na	na	na	16.6
合計	275.1	>17.1	>30.0	>276.1	>95.2	>1030.8
炭素含有量 （10億CO ₂ 換算トン）	1,089.6	>52.5	>76.3	>847.7	>223.9	>2,421.1

出所：IEA、US EIAのデータに基づき筆者作成

2 出所：米国エネルギー省エネルギーデータベース

3 日本のメタンハイドレート研究開発プログラムは産官学共同の「メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム」の下で2001年に始まった。最初の実践的な結果はJapan Times, 25 December 2014で報告されている。

4 カーボンバジェットは、一定の地球温暖化レベルに達するまでに大気中に排出される温室効果ガスの量に関係する。すべてのカーボンバジェットはまた、各国間またはグループ間で分配できるものとして考慮される。

5 「2℃未満」の温暖化を導くGHG排出量は、およそ1.5兆tCO₂eと見積もられる。出所：IPCC Fifth Assessment Synthesis Report, Figure 3.2.

図3 世界の石炭埋蔵分布



出所 : Maps of world, <http://www.mapsofworld.com/business/industries/coal-energy/world-coal-deposits.html>

図4 世界のシェールオイル・シェールガス埋蔵分布図



出所 : EIA, <http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/>

図5 世界のメタンハイドレート分布図



出所：World Ocean Review, <http://worldoceanreview.com/en/wor-1/energy/methane-hydrates/>

1.2. パリ気候協定－科学からビジネスへ

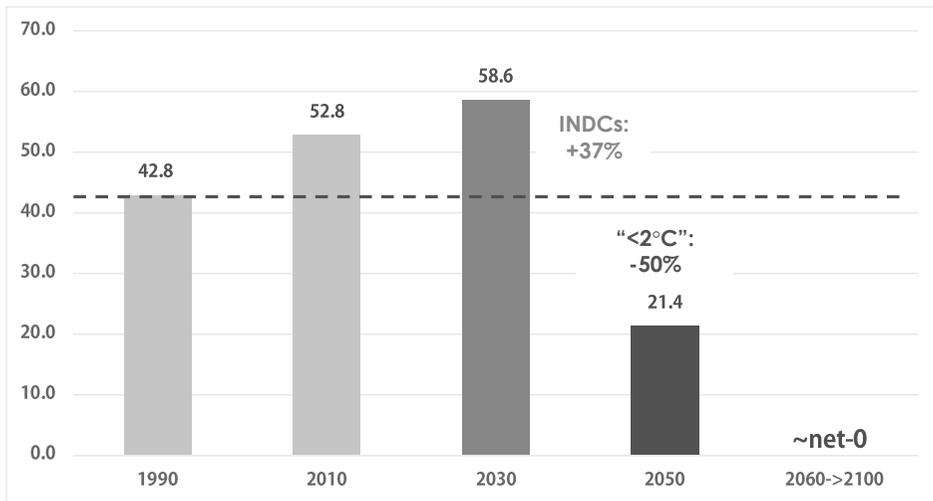
パリにおけるUNFCCC第21回締約国会議（2015年12月）は、2020年から京都議定書に替わることになる新しい国際的な気候問題合意を採択した。その取り決めの主な目標の一つは「世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保つとともに、1.5℃に抑える努力を追求する」（パリ協定第2条）ことである。

このような「気候上の」目標は社会経済発展、技術、金融、法制、国際協力にとって極めて挑戦的で実践的な意味を含んでいる。長期的な炭素排出を2050年までに現在レベルより50%を下回ることなく減らし、今世紀後半には実質ゼロレベル（森林及び土地利用における炭素吸収を含む）に達することが求められる。

京都議定書と異なり、パリ協定はボトムアップ・アプローチに基づき、総排出目標量は各国（またはEU等の国家グループ）の貢献により決定される。160カ国以上が、2030年までの炭素排出削減目標を伴うそれぞれの約束草案（INDC）を提出した。しかし、UNFCCC事務局の試算によると、INDCの約束の総量は2030年まで、排出減ではなく、増加が続くことを示している（図6）。「2℃未満」の目標に進むためには総排出量を2050年までに少なくとも50%減らさなければならないとIPCCが警告しているにもかかわらず、各国から提案された緩和努力が実行されれば、排出量は2030年までに1990年レベルより51%まで上昇することになるだろう。

ここに示されたGHG排出レベルと求められる気候上の目標との間のギャップが大きくなることは、その目標が達成されないというリスクが高いことを意味し、2030年以降の緩和策に対する一層の努力と支出が必要とされる。このことこそ、現在の政策決定者たちが次世代に伝

図6 世界のGHG排出量

1990～2010年レベル、INDCの2030年目標、2050年までの長期「2℃」目標（10億CO₂トン）

出所：UNFCCCデータベース及び筆者作成

えていくことになるそれぞれの国の脱炭素化の責務である。

UNFCCCの各分科会の交渉者たちが、科学的基盤や入手可能な気候上の目標（例えば「1.5℃」か「2℃」か、環境面の行方、人為的要素の影響など）について議論を続ける一方で、炭素基準のリスク、技術移転の必要性、工業製品・加工品の炭素排出に対して増しつつある消費者（および生産者）の注意や関心を反映した経済・投資プロセスが始まった。「環境的にクリーン」で「気候にやさしい」経済の新しいパラダイムは第4次産業・技術革命（ないしその後）の重要部分である（Schwab, 2016）、と多くの世界的専門家は結論付けている。

これまでのすべての産業革命は、巨大な生産力の増加、経済成長の促進、地球規模での技術の近代化を導いた。第1次産業革命では機械化生産に水蒸気を利用し、第2次産業革命では大量生産に電力を用い、第3次産業革命ではオートメーション工業生産その他人間生活の多くの局面に電子情報技術を用いた。次の第4次産業革命は、持続可能な発展の原則に基づき、世界経済をサイバーフィジカルな、環境に配慮した、気候的に健全な未来へとすでに導き始めている。

技術、生産過程、インフラを刷新する必要性や、気候にやさしい消費行動パターンに変えることは、GDPの成長を刺激し、新しい市場を形成し、既存の市場（化石燃料、輸送、基礎資材など）を再構成し、各国（特に新しい環境に適合しえなかった国々）の国際競争力を変えていこう。こうした経済的プロセスはすでに多くの局面で目撃されている。炭素集約産業からの脱却、新しい石炭プロジェクトに対する国際組織による圧力、一連の機関投資家たちの脱炭素化、再生可能エネルギー市場の急騰、ハイブリッドや電気自動車生産の増大などである。

しかし、「2℃未満」目標の経済的判断は未だに評価の過程にあり、野心的ではあるが人間にとって欠かすことのできないこの目標への接近は、これまでに目撃されてきたものより遥か

に徹底的な転換プロセスを意味する。今世紀、世界は80～100%低炭素集約の経済に切り替えるべきであり、我々が次世代のために地球を安全に残したいと真剣に望むなら、ほかに方法はない。

北東アジア各国は、GHG排出削減・制限に関するそれぞれの約束を、UNFCCCにおける2020年に向けた（京都議定書による）交渉及び2030年に向けた（INDCとしての）交渉に基づいて提出した。それぞれの国が定めた貢献はタイプによって多様であるため、地域の目標総量を決めることは難しいが、それらは独自の目標、GDP当たりの指標、自然体ケース（BAU）のシナリオと比較した排出削減、エネルギーミックスにおける再生可能エネルギーの割合、その目標に炭素除去を含むか含まないか、などである（表2）。

例えば、中国は次のような2030年までの非常に野心的な目標を掲げている。

- ・ GDP当たりのCO₂を2005年レベルの60～65%まで削減する。
- ・ 一次エネルギー消費における非化石燃料割合を11%から20%に増やす。
- ・ 森林蓄積量を22億立方メートルから45億立方メートルに増やす。

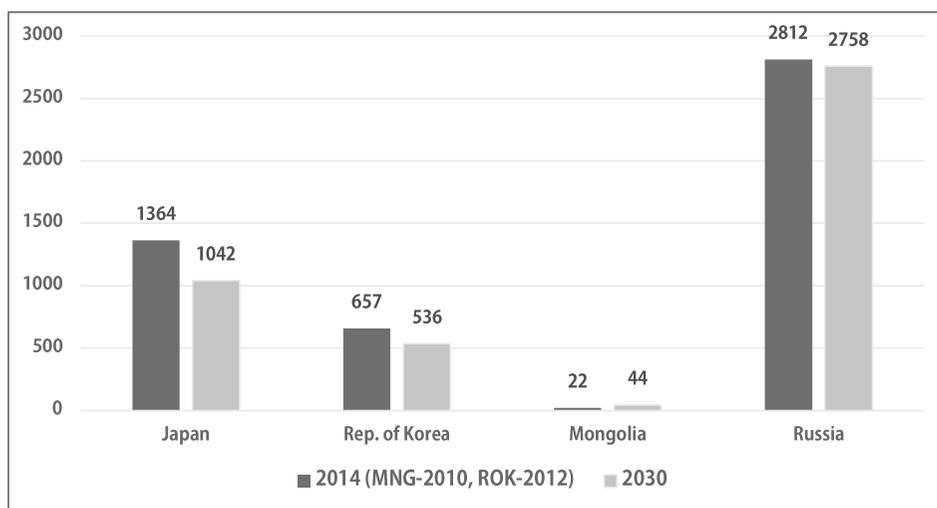
図7は、北東アジア各国の数量化できるGHG排出目標を示している。ロシアのINDCでは、排出削減レベルを2030年までに1990年を30%下回るとし、それは現在の排出レベル（2014年で1990年を29%下回る）に匹敵している。特段の追加削減は提案されていない。また、このINDCは2014年で6.11億CO₂トン（国のGHG排出量の22%）だった森林の総炭素除去量が適用されるべきだとしている。日本の目標は、2030年までに2013年レベルより23%下回るという有意義なGHG排出削減を目指しており、北東アジア各国の中でもっとも野心的と思われる。韓国のINDCは現在レベルより21%の排出削減を目指し、モンゴルの数量目標は2030年までに顕著な排出レベルにすることである。北朝鮮の関連データは公表されていない。

表2 2020年、2030年までの北東アジア各国のGHG排出目標

国	2020年に向けた経済全体の目標	2030年に向けたINDC目標
日本	2020年に2005年レベルに対して3.8%削減	2030年までに2013年レベルに対して26%削減
ロシア	2020年までに1990年レベルより25%下回ることを決定	2030年までに1990年レベルに対して25～30%削減（森林の炭素除去をすべて算入）
韓国	自然体ケース（BAU）で2020年に30%まで削減	BAUで2030年までに37%削減
中国	2020年までに2005年レベルに対してGDP当たりCO ₂ 排出量を40～45%まで削減	2030年までにピークを迎え、同年までに2005年レベルに対してGDP当たりCO ₂ 排出量を60～65%削減
モンゴル	なし	2030年までにBAUで14%削減（LULUCF=土地利用、土地利用変化及び林業部門=を含む）
北朝鮮	NA	NA

出所：UNFCCCに提出された各国の約束草案に基づき筆者作成

図7 パリ協定に基づく北東アジア各国のGHG排出削減・制限目標

(百万CO₂換算トン)

出所：UNFCCCデータに基づき筆者作成

2.1. 歴史的な道筋と傾向

北東アジア・サブ地域は、世界の経済発展においてますます重要な役割を果たしており、17億の人口と10億の労働人口、世界の4分の1のGDP、6.6兆ドルの工業生産、そしてすべての人為的なCO₂排出量の約40%を占めている。また、莫大な化石燃料埋蔵量と再生可能エネルギー資源を有し、それらは域内で提供されうる技術と投資資源を組み合わせることで活用される。

これまで25年間、北東アジア各国はその経済成長を加速し、グローバル化する世界における地位を強めながら、ダイナミックに変化してきた。1990～2015年の間、世界のGDP（PPP⁶換算）が2.16倍に成長する一方、北東アジア各国のGDPは3倍になった。世界のGDPに占める地域経済のシェアは1990年の18%から2015年は25%に増えた。各国の工業化と都市化に関連して都市人口割合が大幅に増えるとともに、人口は14億7700万人から17億800万人に増加した（表3）。

もちろん、発展の道筋は国によって異なり、1990年以降の各国の道筋の特徴を簡単に述べることは重要であり、本書の目的の参考として検討していく。

経済の急成長（GDP、PPP換算）により、中国は1999年に世界第2位の日本を、2014年にはアメリカ経済を上回った⁷。1990～2015年のGDP・PPP平均成長率は空前の14.6%を記録し、中国のGDPはPPP換算で3.5倍、現在のドル為替レート換算で9倍の成長を遂げた。住民の生活水準も向上し、一人当たりGDP（PPP）は、1990年の980ドルから2015年の1万4239ドルに増加した。労働力の面でも急激な変化を経験し、都市人口の割合は1990年の26.4%から2015年の55.6%に増えた。2000年代、中国は工業生産、製造業、輸出において世界のリーダーとなった。一人当たりのエネルギー利用は1990年の0.767 toeから2015年の2.230 toeへと3倍になった。同時に、一次エネルギー総供給量は年間871 Mtoeから、2009年に世界1位のアメリカを上回る年間3000 Mtoe以上に伸びた。

中国と対照的に、日本は1990～2015年の間、比較的低い経済成長で、GDPは年間1%をわずかに下回る成長であった。一人当たりGDP（PPP）は1990年の1万9230ドルから2015年の3万7322ドルへ、約2倍となった。人口は3%増え1億2730万人に達した。一人当たりのエネルギー利用は、1990年の3.560 toeから2004年に史上最高の4.090 toeとなった後は減少し、2015年には3.470 toeとなった。一次エネルギー総供給量は、1990年の440 Mtoeから2004年に最高値の522 Mtoeまで増加し、2015年には455 Mtoeまで減少した。

1990年代初めのソ連邦の崩壊と徹底的な経済転換は、ロシアのGDPを1990年の8430億ドルから1998年の4850億ドルまで42%減らし、その後は次第に回復し、2015年にはおよそ1兆ドルとなった。一人当たりGDP（PPP）もまた、1990年の7850ドルから1998年の5460ドルに減少し、2015年の2万4451ドルに急成長した。ロシアの人口は1990年の1億4800万人から2015年の

6 購買力平価

7 出所：1999年についてはIEA/OECD（2015）、2014年についてはthe Financial Times（<http://www.businessinsider.com/china-overtakes-us-as-worlds-largest-economy-2014-10>）、2016年9月20日検索）

表3 世界経済における北東アジア各国の役割

	1990	2000	2015
GDP (現在為替レート、10億ドル)			
世界	22563.0	33321.0	73434.0
北東アジア計	~4306.2	~6786.4	~17733.1
中国	359.0	1205.3	10866.4
日本	3103.7	4731.2	4123.3
ロシア	516.8	259.7	1326.0
モンゴル	2.6	1.1	11.8
韓国	284.8	561.6	1377.9
DPRK (2005年ドル) *	39.4	27.5	27.8
世界のGDPに占める北東アジアの割合	~19.1%	~20.4%	~24.1%
GDP (購買力平価、10億ドル)			
世界	28600.0	48213.0	113613.0
北東アジア計	~5045.2	~8830.7	~29627.3
中国	1112.5	3681.1	19524.3
日本	2375.6	3290.1	4738.3
ロシア	1188.2	1000.6	3579.8
モンゴル	7.2	8.8	36.1
韓国	361.7	850.1	1748.8
北朝鮮 (2005年ドル) *	148.0	103.2	104.3
世界のGDP(PPP)に占める北東アジアの割合	~17.6%	~18.3%	~26.1%
人口 (百万人)			
世界World	5278.0	6090.0	7118.0
北東アジア計	1476.9	1606.1	1708.3
中国	1140.0	1260.0	1360.0
日本	123.6	126.8	127.3
ロシア	148.0	147.0	143.0
モンゴル	2.2	2.4	2.8
韓国	42.9	47.0	50.2
北朝鮮	20.2	22.8	24.9
世界の人口に占める北東アジアの割合	28%	26%	24%

* 北朝鮮のデータは限定的で一貫していないが、比較のために示した。

出所：IEA/OECD (2015)；World Bank (2016)

1億4300万人へ漸減している。一人当たりのエネルギー利用は1990年の5.929 toeから1998年の最低値3982 toeまで落ち込み、その後は工業の近代化と2008年に採択された現行のエネルギー効率政策にもかかわらず、2015年の5.093 toeまで急増した。一次エネルギー総供給量は1990年の897 Mtoeから1998年の最低値588 Mtoeまで減少し、その後は2015年の740 Mtoeまで伸長した。ロシアからは大量の燃料が輸出され、2015年には全商品輸出の67%に達している。

モンゴルは、1990年代に政治・経済改革が始まってから、GDPの急落に直面した。現在の為替レート換算によるGDPは1990年の25億6100万ドルから1993年の7億6800万ドルに減少し、その後2004年までは11億~14億ドルに微増・停滞し、2013年には125億8200万ドルまで急成長した。2015年までに、GDPは117億5800万ドルに減少した。一人当たりGDP (PPP) は、

中国の後を追うように、1990年の3311ドルから2015年の1万2189ドルまで次第に増加してきた。モンゴルの人口は1990年の240万人から2015年の280万人へ増えた。一人当たりのエネルギー利用は1990年の1.560 toeから1999年の最小値0.944 toeまで急落し、その後は2013年の1.826 toeまで急増した。一次エネルギー総供給量は1990年の3.4 Mtoeから2013年の5.2 Mtoeへ増加した。国は鉱業の拡大政策を追及してきたが、ここ3～4年は鉱産物の国際的な価格と需要の下落に直面し、経済成長の減速を招いてきた。また、国の対外債務もかなり増加してきた。

大韓民国は、経済成長が早い国であると一般に考えられている。そのGDPは1990年の2488億ドルから2015年の1兆3780億ドルへ、5.5倍に押し上げられた。一人当たりGDP (PPP) は、1990年の8436ドルから2015年の3万5349ドルへ4倍成長した。国には工業生産、電機、自動車、造船における世界のトップ企業がある。人口は1990年の4290万人から2015年の5060万人に増えた。一人当たりエネルギー利用は1990年の2.167 toeから2015年の5.262 toeへほぼ直線的に上昇してきている。一次エネルギー総供給量は、1990年の93 Mtoeから2015年の264 Mtoeへ増加した。国で消費されるエネルギー資源の82%が輸入されている。

北朝鮮は1990年以降、経済減速を続けてきた。GDP (PPP、2005年ドル換算) は、1990年の1億4800万ドルから2013年の1億400万ドルへ約30%落ち込んだ。一人当たりGDP (PPP) は、1990年の7329ドルから2013年の4190ドルへほぼ半減した。人口は、1990年の2020万人から2013年の2490万人に増えた。国のTPESは、1990年の33.2 Mtoeから2013年の14.5 Mtoeへ56%落ち込んだ。国は国連の制裁下にあり続け、経済発展が限定され、経済動向と住民の生活水準に影響している。国は、中国、モンゴル、ロシア、韓国といった北東アジアの隣国と緊密な経済的結び付きを持っている。

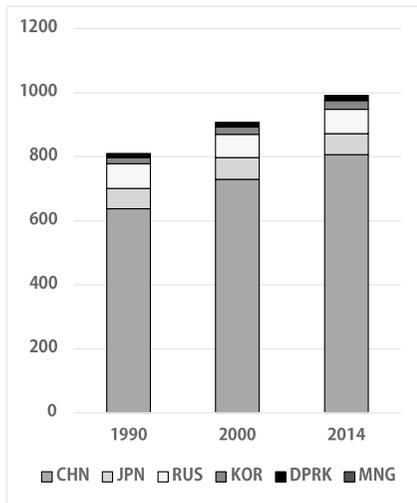
北東アジア各国全体の労働力は、1990年の8億1000万人から2014年の9億9200万人へ、中国(27%増)を中心に増加した。日本とロシアでは、この間の労働力の成長はほぼゼロだったが、韓国は38%増、北朝鮮は26%増、モンゴルは78%増であった(図8)。

工業生産は1990～2015年の間に大きく転換された。この期間中、全工業生産高は2.6倍となった(図9)。主要生産国である日本はやや安定的な生産高で、1990年レベルに対して15.5倍の生産高となった中国に2000年代半ばで追い越された。ロシアの生産高は1990年代に大きく減退したが、2015年までに1990年レベルの83%に達するまで回復した。韓国の生産は3.7倍に、モンゴルは3倍に増加した。

この地域の最終エネルギー消費は、何よりも1990～2013年の間で3.5倍以上のエネルギー利用となった中国のお陰で、集中的に増加してきた。ロシアは、1990年代に国内エネルギー利用を30%減らし、その後は1990年レベルの83%にまで次第に増やした。日本のエネルギー消費は2000年代半ばまで漸増し、現在は1990年レベル並みとなっている。韓国のエネルギー利用は1990年からほぼ3倍となった。北朝鮮のエネルギー消費は56%落ち込んだ。モンゴルのエネルギー利用は59%増加した(図10)。

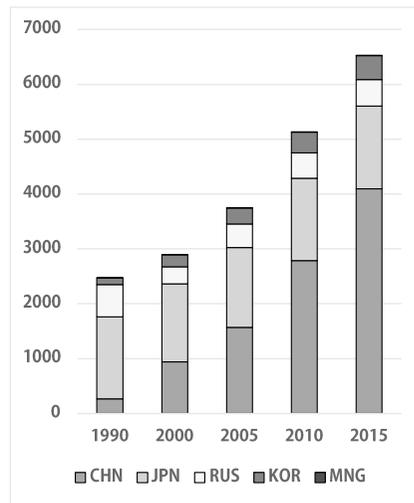
同様の変遷が化石燃料消費に見られる。中国の急速な経済成長は燃料利用(主に石炭)を4倍に増やし、韓国は化石燃料利用をほぼ3倍とし、モンゴルは55%増だった一方、日本の化石燃料消費増は15%であった。ロシア国内の化石燃料利用は19%減らし、北朝鮮は60%減少した(図11)。

図8 北東アジア各国の労働力
(百万人)



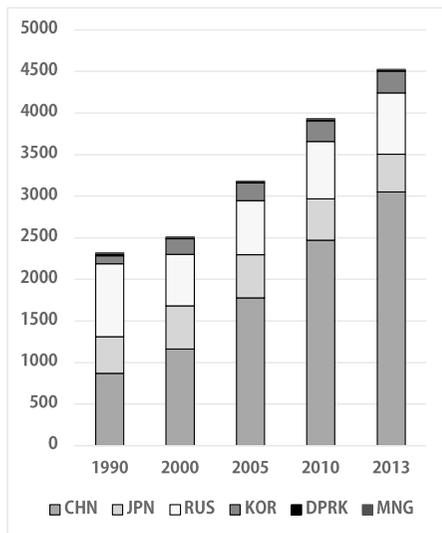
出所：World Bank (2016)

図9 北東アジア各国の工業生産高
(2010年経常10億ドル)



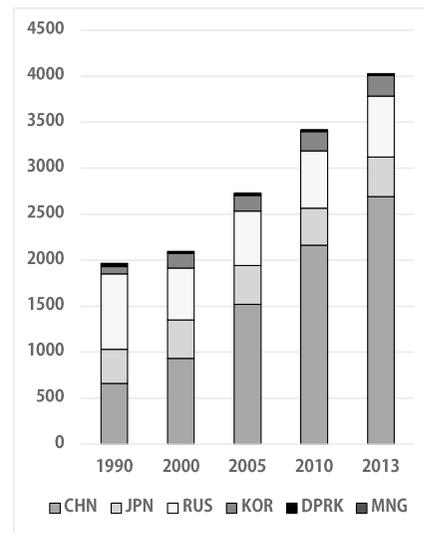
出所：World Bank (2016)

図10 北東アジア各国のエネルギー利用
(Mtoe)



出所：IEA/OECD (2015)

図11 北東アジア各国の化石燃料利用
(Mtoe)



出所：IEA/OECD (2015)

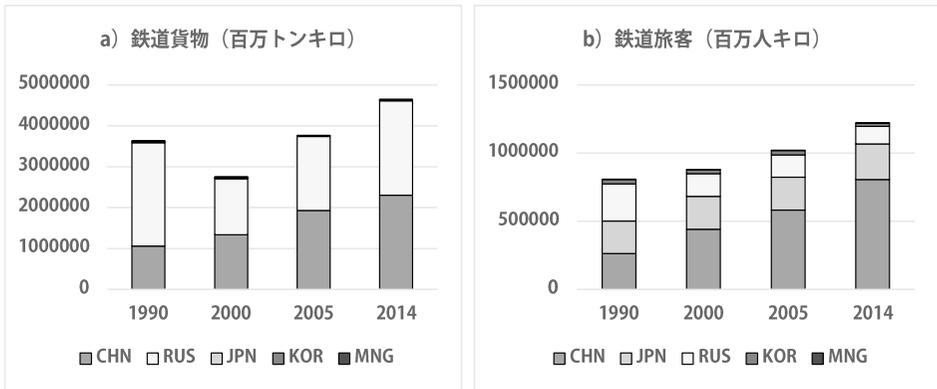
北東アジア各国においては非常に重要な輸送部門も大きな変化を示した。拡大する鉄道ネットワークを通じた物流を牽引しているのがロシアと中国である。1990年以降、中国では2～3倍の物流増が見られ、ロシアでは1990年代に50%もの大幅な物流の衰退があったが、その後2014年までに1990年レベルの90%まで回復した。しかし、北東アジア各国の鉄道旅客

輸送はまったく別であり、中国は年間人キロを3倍にし、日本は9.5%増だったが、ロシアは53%減少した（図12a、b）。

航空輸送は劇的に変化してきた。市場に新しく参入した（現在は地域のリーダーである）中国と韓国は、貨物量をそれぞれ24倍、4.6倍に急増させた。日本は航空貨物量を70%増やし、ロシアは5.6倍とした。旅客輸送では、中国が2015年に4億3600万人を運び、突出してきた。日本と韓国は旅客輸送をそれぞれ1.5倍、4.2倍に増やした。ロシアは1990年代に大きな下落（80%）を経験し、2015年までに1990年レベルの60%にまで回復した（図13a、b）。

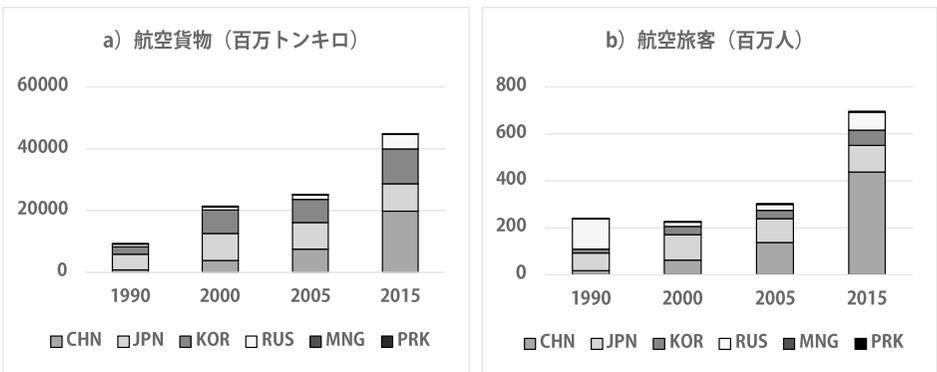
自動車部門は1990年以来、北東アジア各国すべてで急成長してきた。現在、域内の全自動車登録台数は4億2000万台に伸び（図14）、拡大を続けている。ここ数年、車両の構成が変化し、ハイブリッド、ガス利用、電気自動車、水素燃料電池自動車（水素で走るトヨタMIRAIの大量生産が2014年に始まった）の増加に向かっている。

図12 北東アジア各国の鉄道輸送



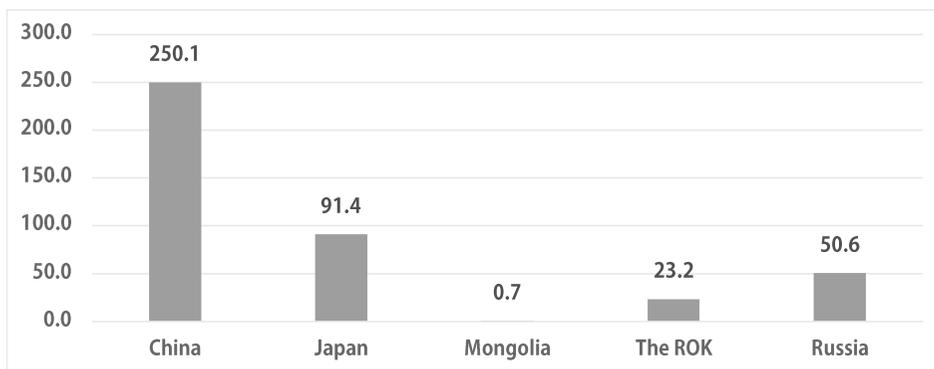
出所：World Bank (2016)

図13 北東アジア各国の航空輸送



出所：World Bank (2016)

図14 北東アジア各国の自動車登録台数（2013年）



出所：World Bank (2016)

2.2. 社会経済発展の展望

社会経済発展の予測は、通常10～20年先までに限られ、2050年までのような長期間を視野に入れた適切なデータを入手するのは非常に困難である。しかし、公平かつ合理的な仮説(予想)に基づき、域内各国の変化を想像したマクロレベルの姿を描くことはできる。

第一に、2030年までの北東アジア各国における全人口の国連の予測は約2%増であり、その後2050年までに現在レベルより3%減少するとされている。中国、ロシア、日本はやや人口が減少すると見込まれ、北朝鮮とモンゴルでは増加し、韓国では比較的安定的にとどまるだろう(表4)。

同時に、北東アジア主要国の経済成長はむしろ高く予想されている。2014～2050年の間、PPP換算のGDPは中国で3.5倍、日本で1.7倍、ロシアで2.1倍、韓国で2.3倍上昇するだろう(PwC, 2015)。これは、これら各国のGDPの年間平均成長率約3%に相当する(表5)。

住民の生活水準もまた上昇すると予想されている。2050年までに、PPP換算の一人当たりGDPは中国で3.4倍、日本で1.9倍、ロシアで2.2倍、韓国で2.5倍上昇するだろう。PwC(2015)によるこのシナリオでは、韓国は2030年までに一人当たりGDP・PPPで日本を追い越し、ロシアは2030年にはほぼ日本の現在の一人当たりGDP・PPPレベルに達し、2050年までには2倍に上昇を続けることができるだろう。

北東アジア各国における長期の社会経済発展戦略・プログラムは多数ある。中国における5カ年計画、ロシアの2030年までと2035年までのエネルギー戦略、モンゴルの2030年までのグリーン開発とエネルギー政策、韓国のグリーン成長戦略、日本の新成長戦略と2020年及び2030年を目標にしたエネルギー基本計画、その他である。本書の目的に沿った重要な政策目標は、エネルギー、貨物・旅客輸送、工業(セメント、金属、その他)、住宅・商業ビル、農林業、環境管理(水理、メタン排出規制など)に関連するものである。表6は、私たちが低炭素発展戦略・政策手段をさらに分析する上で有意義だと考える代表的な指標の2050年までの概要を示した。

表4 2050年までの人口予測(千人)

国	2015	2030	2050	2050/2015
中国	1,376,049	1,415,545	1,348,056	98%
ロシア	143,457	138,652	128,599	90%
日本	126,573	120,127	107,411	85%
韓国	50,293	52,519	50,593	101%
北朝鮮	25,155	26,701	26,907	107%
モンゴル	2,959	3,519	4,028	136%
北東アジア計	1,724,486	1,757,063	1,665,594	97%

出所：UN, 2015

表5 2050年までの経済発展予測

国	2014 (結果)	2030 (予測)	2050 (予測)	2050/2014
GDP・PPP (2014年10億ドル)				
中国	17,632	36,112	61,079	346%
日本	4,788	6,006	7,914	165%
ロシア	3,559	4,854	7,575	213%
韓国	1,790	2,818	4,142	231%
一人当たりGDP・PPP (2014年10億ドル)				
中国	12,885	24,872	43,528	338%
日本	37,620	49,207	72,245	192%
韓国	36,728	54,347	80,579	219%
ロシア	24,811	35,792	61,727	249%

出所：PwC, 2015

表6 2050年までの北東アジア各国の代表的な発展指標の概要

国	2010 (結果)	2050 (予測)	2050/2010
中国			
一次エネルギー (EJ)	101	178	176%
最終エネルギー消費 (EJ)	74	122	165%
貨物輸送 (兆トンキロ)	2.7	9.8	363%
旅客輸送 (兆人キロ)	2.1	13.2	629%
日本			
一次エネルギー (EJ)	16.5	8	53%
最終エネルギー消費 (EJ)	14	7	50%
貨物輸送 (兆トンキロ)	0.4	0.2	128%
旅客輸送 (兆人キロ)	1.3	1.1	90%
ロシア			
一次エネルギー (EJ)	28.13	17.95	64%
最終エネルギー消費 (EJ)	22.94	15.35	67%
貨物輸送 (兆トンキロ)	2.4	4.2	178%
旅客輸送 (兆人キロ)	0.9	2.1	221%
韓国			
最終エネルギー消費 (EJ)	7.98	5.01	63%
GDPに占める工業割合	27.2%	35.3%	130%
旅客輸送 (一人当たり人キロ)	13400	26300	196%

出所：DDPP project: <http://deepdecarbonisation.org/>; Kainuma M., Akashi O., 2016

3.1. 趨勢

北東アジア各国のここ数年の温室効果ガス（GHG）の排出データは入手困難だが、私たちのおおよその推計によれば、この地域のGHG排出量（土地利用と森林を除く）は、1990年の90億CO₂換算トンから2014年の150億CO₂換算トンへ66%増加した⁸。IEAのより精密なデータは、北東アジア各国のエネルギー部門からのCO₂排出量が、1990～2013年の間で、58億CO₂トンから124億CO₂トンへ2倍以上増加したことを示している（図15）⁹。各国は、化石燃料利用からのCO₂排出量の増加（+）あるいは減少（-）でそれぞれ異なる状況を示した。

中国	+311%
韓国	+147%
モンゴル	+45%
日本	+18%
ロシア	-29%
北朝鮮	-59%

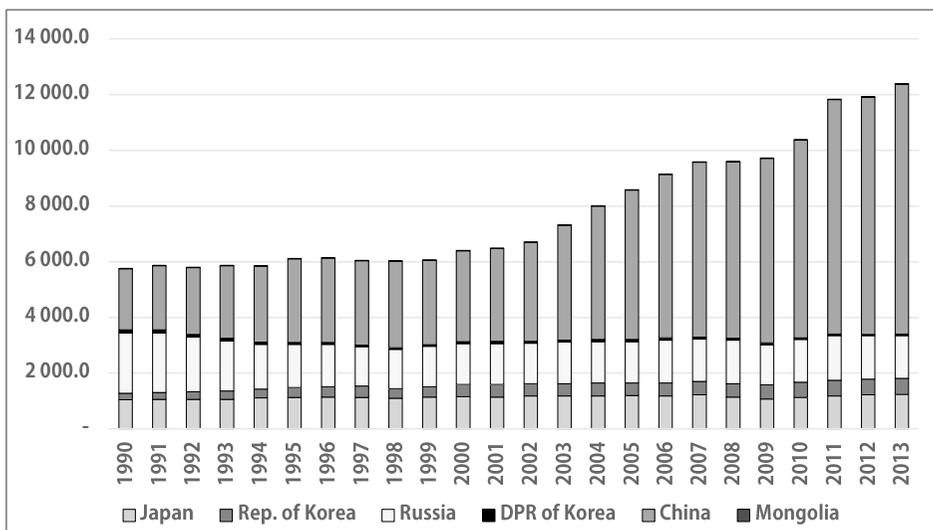
現在、北東アジア最大の炭素排出国は中国で、域内排出量の72%を占めている。ロシアは排出量の12%、日本は10%、韓国は5%、北朝鮮とモンゴルは1%未満となっている。GHG排出量の構成は国によって異なるが、すべての国でエネルギー部門が顕著になっている（図16）。モンゴルの農業部門からの排出が他の北東アジアの近隣国よりも大きな割合を占めていることが特筆され、それはエネルギー部門に匹敵している。

1990年以降、波乱の1990年代の北朝鮮とロシアを除き、北東アジア各国のエネルギー部門からのGDP（PPP）当たりのCO₂排出量は減少してきた。こうした減少の変遷は国によって異なるが、GDP（PPP）当たりのCO₂排出量の主な削減は、図17で示すように、一人当たりGDP（PPP）の増加に関連してきた。日本は、一人当たりGDPの増加とともに、非常に緩やかなGDP当たりの排出削減を見せた。他方、韓国のGDP当たりの排出量は、一人当たりGDPの増加（2013～2014年の日本に匹敵するレベルまで）と共に劇的に少なくなった。中国のGDP当たりのCO₂排出量は、一人当たりGDPの上昇とともに2倍以上減少した。モンゴルは、GDP当たりCO₂排出量をわずかに減らしながら、一人当たりGDPを増やした。ロシアは、1990年代に一人当たりGDPの劇的な低下があったために、GDP当たりCO₂排出量をやや増やしたが、その後は一人当たりGDPの成長と共に大いに（約40%）削減した。北朝鮮は、一人当たりGDPとGDP当たりCO₂排出量の両方とも減少を示した。

8 （かなり不確定だが）筆者たちの推計はUNFCCCの各国別最新目録データに基づく。

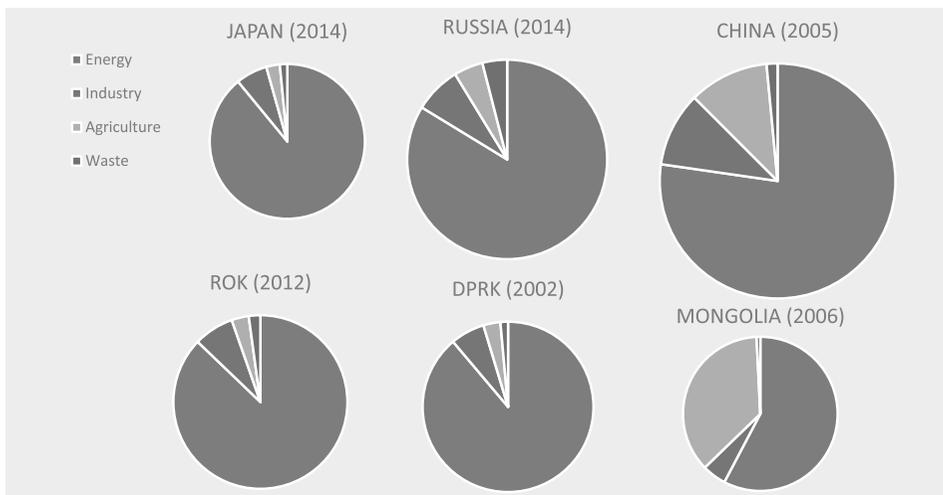
9 IEAデータベース：CO₂ Highlights 2015

図15 北東アジア各国のCO₂排出量（百万CO₂トン）



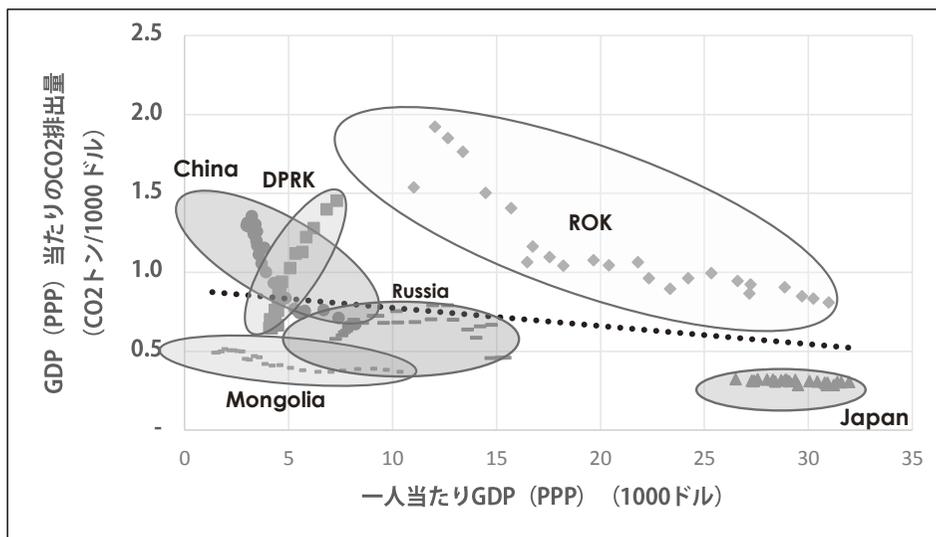
出所：IEAデータに基づき筆者作成

図16 北東アジア各国の部門別GHG排出量の内訳



出所：UNFCCCデータ

図17 北東アジア各国のCO₂排出量と一人当たりGDP（1990～2014年）



出所：IEAデータに基づき筆者作成

3.2. 誘因

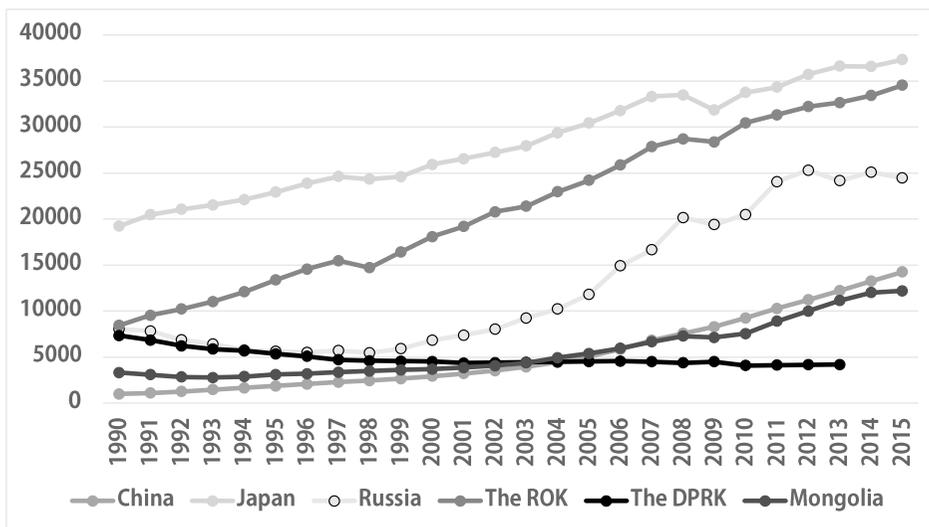
北東アジア各国は1990～2015年に大きく変化し、人口は14億7000万人から17億2000万人へ17%増え、全GDPは7兆2000億ドルから17兆4000億ドルへ142%増加し（実質、2010年ドル）、CO₂排出量は32億CO₂トンから127億CO₂トンへ4倍に増えた。

同時に、これら各国の経済発展の道筋は多様で、それぞれ異なった規模の経済改革のインパクト、1998年と2008年の世界金融・経済危機、2013～2016年の世界燃料・金属価格の下落を経験してきた。

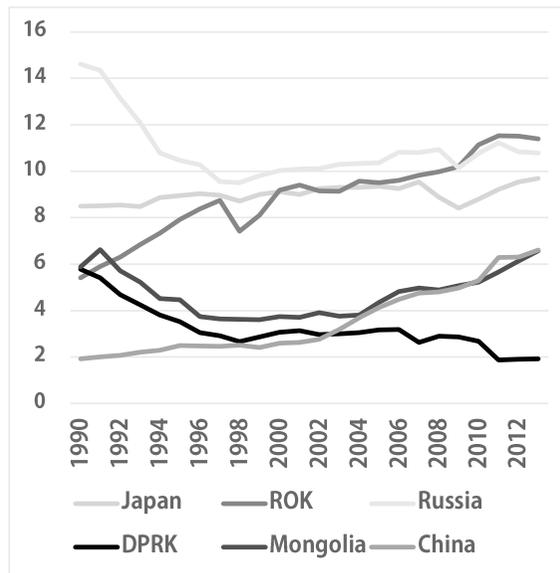
1990～2015年の全体にわたって、住民の生活水準は多くの国で向上し、大韓民国（韓国）の一人当たりGDP（PPP換算）は2015年にほぼ日本のレベルに達し、モンゴルでは中国の変遷をほぼ追ってきた（図18）。ロシアでは2015年の一人当たりGDP（PPP）が約2万5000ドルと、1990年に比べ3倍となった。朝鮮民主主義人民共和国（北朝鮮）では、主として制裁措置、景気後退、継続する人口増により、一人当たりGDPが1990年からおよそ半減した。

1990年以降、エネルギー関連の一人当たりCO₂排出量（図19）がロシアでは30%、北朝鮮では60%減少し、日本では15%、韓国では100%、中国では250%増加し、モンゴルでは30%減少した後に1991年レベルに戻った。

図18 北東アジア各国の一人当たりGDPの変遷 (PPP・ドル換算)



出所：IEA, 2015b

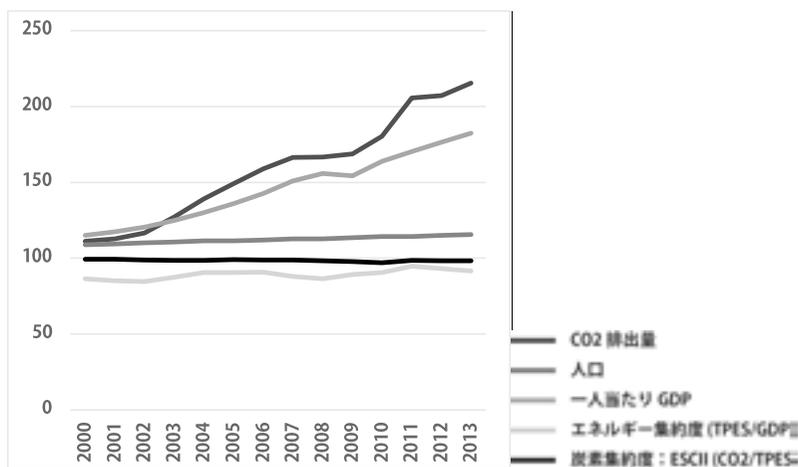
図19 エネルギー関連の一人当たりCO₂排出量 (CO₂トン)

出所：IEA, 2015b

北東アジア地域についての茅恒等式¹⁰の分析により、最近15年間のCO₂排出増の重要なドライバー（誘因）が特定することができる（図20）。一人当たりGDPの成長がCO₂増加の鍵となる誘因であり、人口増、エネルギー集約度、一次エネルギー総供給量（TPES）における炭素集約度など他の要素は比較的安定しており、CO₂排出量の変遷に大きな影響は及ぼしていない。

しかし、各国ごとの動きを茅恒等式の要素別に検討すれば（図21a～f）、これらの誘因の重要性はそれぞれかなり違っている。意味合いの大きなエネルギー集約度では、その低減がロシア、日本、モンゴルで見られ、北朝鮮では2011年に約30%も劇的に減少した。TPESにおける炭素集約度はロシアで30%まで漸減し、日本では2011年まで比較的安定し、その後約20%増加した。人口の増加はモンゴルと北朝鮮で大きな誘因となった。

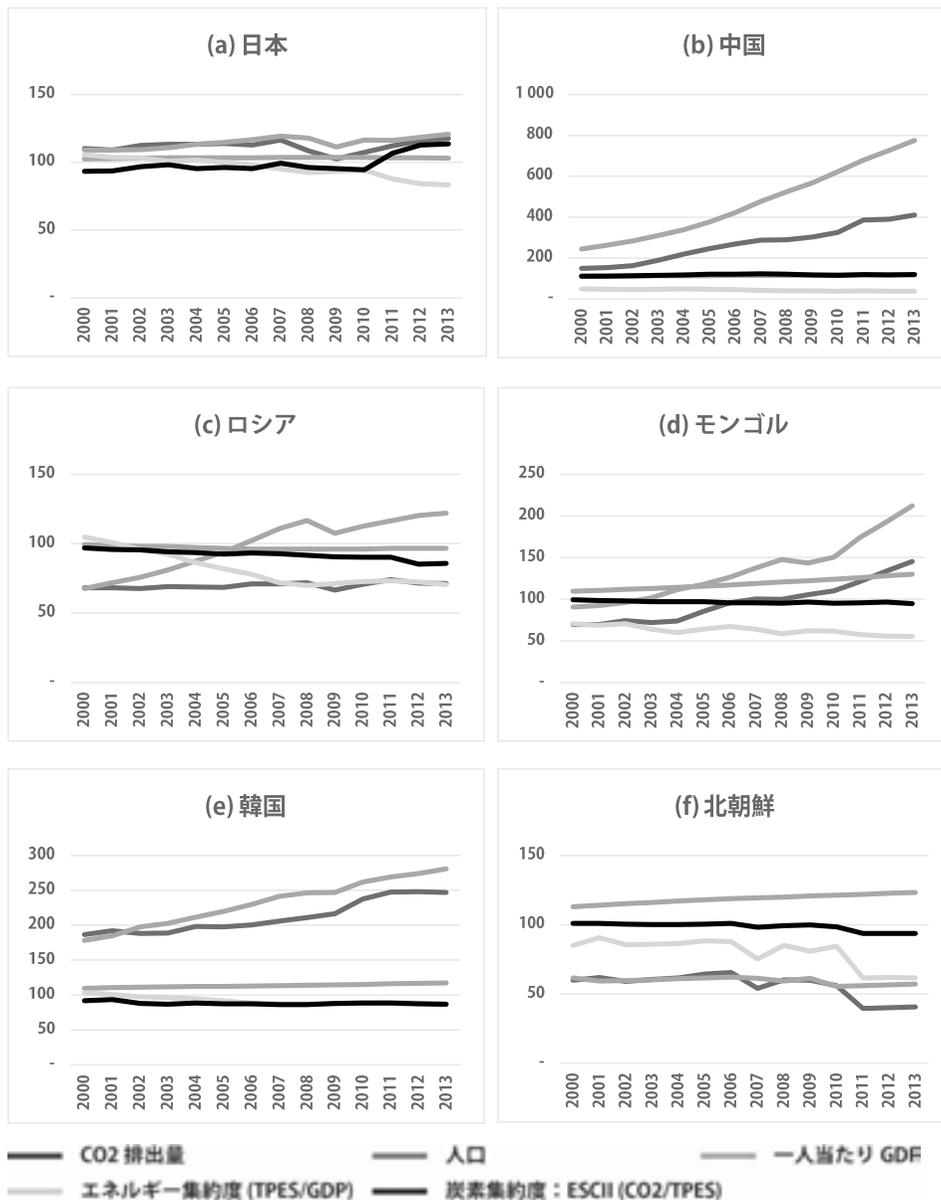
図20 北東アジア全体の茅恒等式分析（2000年～2013年、1990年=100）



出所：IEA, 2015b

10 茅恒等式は、日本のエネルギー経済学者・茅陽一によって開発され、人口、一人当たりGDP、(GDP単位当たりの)エネルギー集約度、(消費エネルギー単位当たりの)炭素集約度という4つの生産投入量で全体の排出レベルを表す。排出量シナリオに関するIPCCの報告において将来の排出量シナリオを描く上で中心的な役割を果たしている。

図21 北東アジア各国における茅恒等式によるCO₂排出の誘因 (2000~2013年、1990年=100)



出所: IEA, 2015b

4.1. 大規模な脱炭素化コンセプト

気候変動は経済、インフラ、環境、健康、地域社会、人々の健全性などに危険なインパクトを及ぼす世界的なリスクを提示している。第5次評価報告書 (IPCC, 2014b) は、このようなインパクトの包括的な概要を各国・地域別の長期予想とともに示している。

短期的には温暖化した気候や増加した降水量から利益 (穀物生産の増加など) を得た国々もあるが、中・長期的にはすべての国の損失が予測される。「緩和策と適応策を取らない」政策コストの総計は、今世紀末までに世界の年間GDPの5~20%に上る (Stern, 2006)。

過去150年間で大気中の温室効果ガスが集中して劇的に増加してきた鍵となる誘因は、化石燃料 (主として石炭、石油、ガス) の燃焼の極端な増加と、現在までに1.4兆CO₂トンに上る関連する人為的なCO₂排出である。さらに、急速に進む森林伐採は炭素排出と炭素吸収減を招き、それは特に熱帯林に関係している (これまでにその50%が伐採された)。

主にこれらの人為的なインパクトにより、CO₂濃度は1850年の280 ppmから現在の400 ppmまで跳ね上がった。マウナロア観測所の最近の測定では409 ppmという高いレベルを記録している (2016年4月)。地球は少なくともここ40万年の間、このようなCO₂濃度レベルを経験してこなかった。

世界の平均気温は産業革命前と比べて0.8℃上昇した。しかし温暖化の地域分布はかなり異なっている。ロシアのシベリア・極東では気温が2.5~3.5℃以上高くなり、日本は1.15℃だった (1900年比)。不幸なことに、これからの変動予測はすべてがそれぞれ悲しいほど「悲劇的な」レベルになっている。「good」シナリオで温暖化は2~3℃、「really bad」シナリオでは2100年までに6℃に達する (IPCC, 2014b)。

降水量もまた劇的に変わり、いくつかの地域では50%を超え、水理体制も世界の多くの地域でこれまで通りにはいかないだろう。干ばつや乾燥期が増える地域もあれば、雨量が増える地域もあるだろう。こうした変化の悲劇は次のように例示されうる。すなわち、2℃温暖化する3億人が飲料水の不足に苦しみ、3℃温暖化する30億人が水不足に直面するだろう。どの場合でも、数百万人の移住が世界経済や生活レベルに過酷な結果を招くだろう。

北東アジア地域では、気候変動の最も重要なインパクトとして次のことが考えられる。砂漠化と森林の自然火災を増やす干ばつ、海岸や国土の損失を伴う海水面の上昇、インフラや生活区域に損害を及ぼす洪水、北方への昆虫と感染症 (脳炎、マラリア、黄熱病など) の拡大、人の健康に影響し家畜の命を奪う熱波や寒波、その他である (IPCC, 2014b; S-8, 2014; RosHydromet, 2014)。すでにいくつかのインパクトが観察されており、それは2010年のモンゴルにおける寒波による900万頭の家畜の損失 (Ikegami, 2016)、4万4000人以上の死者を出したロシアの熱波 (Revich, 2010)、1800人の死者を出した2010年の日本 (MoE, 2012) であり、2013年の中国・ロシアにおけるアムール川の氾濫による数十億ドルの損害などである。

UNFCCC COP21で署名された新しい気候協定は、「世界的な平均気温上昇を産業革命以前

に比べて2℃より十分低く保つとともに、1.5℃に抑える努力を追求する」という新しい国際目標を設定した（Art. 2, Paris Agreement）。この「気候上の」目標を達成するためには、世界の温室効果ガス（GHG）排出量は2050年までに現在レベルより50%を下回らないように減少し、今世紀後半には実質ゼロレベル（森林と土地利用における炭素吸収を入れて）に達しなければならない。

2016年9月初めにアメリカと中国（合わせて世界の炭素排出量の38%に相当する）がパリ協定を批准したことは、この世界的な取り決めが2016年11月4日に効力を持つことを可能にし、世界経済は低炭素社会に移行していくだろう。気候と人間にとって、より早いことは、より良いことである。問題は、いかにして、である。

2050年までに「気候にやさしい」世界経済をモデル化する最初の試みは、潘基文（パン・ギムン）国連事務総長のイニシアチブによる「大規模な脱炭素化への道筋プロジェクト」の下で行われ、持続可能な発展ソリューションネットワーク及び16カ国（世界のCO₂排出量の75%に相当する）から30以上の研究チームが支援した。

大規模な脱炭素化コンセプトは、世界的平均気温の上昇を2℃未満に制限するに十分なレベルまで世界の排出量は低減されなければならないとしている。経済的にいえば、CO₂排出量は2050年あたりでは一人当たり約1.7 CO₂トンまで、その後は実質ゼロまで低減することが求められる。

中国、アメリカ、日本、EU、ロシア、その他の主要国・地域の「クリーン」な未来は、先進の数学的な手法を使ってモデル化された。驚くことに、大規模な脱炭素化のための機会が数多く見い出され、2050年までの計画対象期間にこれら各国・地域を大規模に脱炭素化するための費用は毎年のGDPの0.8～1.2%の範囲であると計算された（SDSN-IDDR, 2015）¹¹。費用削減の重要なインパクトは、まず鍵となる技術（風力、太陽光、電気自動車、その他）のための降下「学習」曲線において、そして炭素フリーのものに代替される古い償却施設（石炭、ガス火力発電）の適切な段階的廃止において確認された。

4.2. 北東アジアの脱炭素化－未来からの視点

北東アジア各国の、それぞれの大規模な脱炭素化への道筋モデルに基づいた2050年のエネルギー関連のCO₂排出量の見通しは、各国の脱炭素化に向けた国レベルの広範囲にわたる努力を伴いながら、総排出削減量で2050年までに50%に達するだろうことを示している（表7）。しかし、累積排出量は1990年レベルを下回ることができず、「2℃目標」への道筋に従うこ

11 IDDRと国連SDSNが革新的国際プロジェクト「大規模な脱炭素化への道筋プロジェクト（DDPP）」を共同でコーディネートしている。プロジェクトは2013年に始まり、アメリカ、日本、中国、インド、ロシア、ドイツ、フランス、イギリス、インドネシアなど世界の16カ国が参加した。DDPPの調査チームはそれぞれの国の脱炭素化を研究している。各国のチームは、現在のインフラ、自然資源、社会経済発展段階を考慮した上で、それぞれの社会が必要とするすべてのエネルギーサービスを提供する低炭素エネルギーシステムへの道筋を明らかにする。詳しくは<http://deepdecarbonization.org/>。

とができないだろう¹²。

表7 2010年のエネルギー関連のCO₂排出量と2050年の見通し（百万CO₂換算トン）

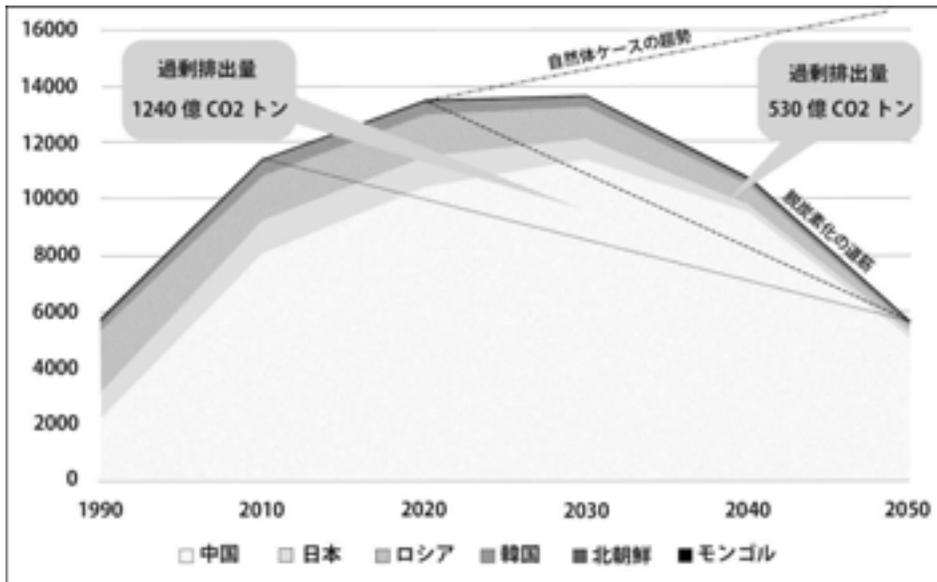
国	1990 ¹⁾	2010 ¹⁾	2050	2050/2010、%	2050/1990、%
中国 ²⁾	2,184	8,152	5,201	64%	238%
ロシア ³⁾	2,163	1,529	200	13%	9%
日本 ⁴⁾	1,049	1,123	180	16%	17%
韓国 ³⁾	232	560	82	15%	35%
北朝鮮 ⁵⁾	117	66	80	121%	68%
モンゴル ⁵⁾	13	14	30	214%	233%
計	5,757	11,444	5,773	50%	100%

出所：¹⁾ IEA/OECD, 2015; ²⁾ Teng, 2015; ³⁾ SDSN/IDDRI, 2014; ⁴⁾ Kainuma, 2015; ⁵⁾ 筆者作成

脱炭素化行動の遅れは、過剰な炭素排出量の点で多くの費用を掛けることになるだろう。もし排出量の下方への直線的な減少が2010年に始まれば、大規模な脱炭素化シナリオと比較して、エネルギー利用からの累積排出量を2050年までに1240億CO₂トン削減することになるだろう。他方、直線的な減少が2020年に始まれば、過剰排出の削減量は530億CO₂トンとなるだろう（図22）。もし自然体ケース（BAU）のシナリオで比較検討されるとすれば、韓国、ロシア、中国、北朝鮮、モンゴルといった多くの国にとっては、2050年までのBAUの道筋は漸増または比較的安定した排出量であり、排出削減量はより多く見積もられるだろう。2050年までに80%削減する（基準年は未定）という日本の国家目標は、第4次環境基本計画として2012年4月27日に政府により採択され、2015年にUNFCCCへ提出されたINDCとして、外交正式決定事項として確認された。

北東アジアにおける緩和行動がいち早くスタートすれば、累積排出量の推移に大きな意味を持つことになるだろう。京都議定書の実施が示したように、2008～2012年におけるこの地域の排出量の傾向は減少には転じなかった。「炭素大国」中国からの増加する排出量によって、その他の国々の努力は明らかに「補われた」が、そうでなくても、域内のほとんどすべての国は現在まで排出量の継続的増加を見せてきた（北朝鮮を除く）。経済発展の慣性は、少なくとも2030年まで、長期的な化石燃料ベースの資産投資が火力発電所、工業、輸送インフラなどの40～50年にわたる高排出レベルを保ち、炭素から逃れられないリスクを増しながら、各国に炭素集約的成長を強いることになるだろう。この地域の経済が2030年までに世界の炭素排出量のより高い割合（現在より40%以上増）を占めることになるだろうことから、このリスクは同時に世界的な意味を持つ。

12 世界の気温上昇を2℃までに抑えるためにはGHG濃度を450 CO₂換算ppmより低くしなければならず、それはGHG排出を2010年レベルよりも2050年までに41～72%、2100年までに78～118%削減することで達成される（IPCC, 2014）。「1.5℃目標」はこのシナリオのみならず、累積炭素排出量の野心的な削減が求められるものにも合致しないだろう。2050年に向けた世界の「挑発的な」目標は当初、ラクイラサミットにおけるG8共同声明の政策的目標として出され、それはG8が共同して排出量を2050年までに1990年またはそれ以降の年と比べ80%まで削減し、世界的には2050年までに排出量を50%まで削減し始めようというものだった。

図22 北東アジアにおけるエネルギー関連の累積CO₂排出量（百万CO₂トン）

出所：SDSN-IDDRI, 2015に基づき筆者作成

4.3. 異なる野心的目標と可能性－国別の状況

中国

中国の経済は1990年から2015年にかけて空前の成長を遂げてきた。毎年の実質GDPは平均約10%ずつ成長し、1990年代の序盤と2000年代の中盤は年間10～14%の高い水準を記録した。工業（建設を含む）が1990年代序盤の毎年の成長をけん引した部門であり（1992年の成長率は23%）、1997年から2013年はサービス部門とともに牽引し（実質成長率は8～16%）、2014年から2016年はおよそ7%にスローダウンした。農業は1990年以来、毎年平均3～4%の成長（実質）を示してきた。現在は、長期的展望における中国の「新常态」の枠内で、緩やかなGDP成長率（およそ7%）が考えられている。

経済成長、人口統計学上の状況、都市化のプロセス、化石燃料の燃焼によるエネルギー部門の能力増強、交通の発展、工業化、その他の要素が国の炭素排出の変遷に大きな影響を与えた。2006年、中国はエネルギー関連のCO₂排出量で世界1位となり（IEA/OECD, 2015）、現在は年間約90億CO₂トン（世界のCO₂排出量の28%）を排出している。

中国のINDCによれば、その気候変動緩和策は次の主な目標を含んでいる。すなわち、2030年までにGHG排出を最大限とし、2030年までに2005年レベルに対してGDPの炭素集約度を60～65%まで削減し、非化石燃料の一次エネルギー（原子力、再生可能エネルギー、水力を含む）を2030年までに約20%引き上げ、森林蓄積量を2030年までに45億立方メー

トル増やすことである (China, 2015)。

国の大規模な脱炭素化は、進行中の発展目標と相反しかねない大きな挑戦であると考えられる。中国の一人当たりCO₂排出量は、1990年から2013年の間に1.9 CO₂トンから6.6 CO₂トンに次第に増加してきている。

大規模な脱炭素化への道筋は、経済成長を維持しながら、経済構造改革の加速化、サービス需要に対する有効な制御、低炭素エネルギー（天然ガス、非化石燃料を含む）の促進、炭素回収・利用・貯蔵（CCUS）などの低炭素技術の開発についてモデル化された (Teng, 2015)¹³。

一次エネルギー消費は2040年までに4610 Mtoeに達し、2050年までに4358 Mtoeで安定すると考えられている。工業部門はこの間を通じて最大の最終消費部門であり続け、2050年までに2010年に対して39%まで増加すると予測されている。輸送と建築は、それぞれのエネルギー需要において、2050年には2010年レベルから130%、92%増の急成長を経験するだろう。

エネルギー部門

大規模な脱炭素化シナリオにおいて、電力は2050年までに、電力消費で3倍の11,772 TWhとなり、次第に主要なエネルギー源となっていくだろう。電力化率は2010年の18%から2050年の34%に上昇するだろう。非化石燃料による電力は、風力と太陽光発電の急成長、原子力と水力発電の着実な成長により、優勢になるだろう。こうした目標は、2020年、2030年において一次エネルギー消費のそれぞれ15%、20%に達し、2030年後はさらに加速するという国の約束に合致している。

石炭の利用は2020年頃に最大値約41億トンに達し、2030年までに安定し、その後は減少していく。全発電量に占める非化石燃料による電力の割合は、2010年の20%から2020年の34%、2030年の43%、2050年の72%に上昇する。2050年までに、水力発電容量は500 GWに達すると予測され、原子力発電容量は320 GWまで伸びると考えられ、風力発電容量は1200 GWに達し、太陽光発電容量は1200 GWを超えるであろう。CCUS技術は中国にとって非常に重要であり、約75%の石炭火力発電所容量がそれに対応し、年間CO₂貯蔵量は1.8ギガCO₂トンに達するだろう。

その他部門

工業の排出は2050年までに2010年を52%まで下回るものの、この部門は依然として最大の排出源となるだろう（全体の53%）。輸送部門からの排出量は、電気自動車や燃料電池自動車が2030年までに商業化され、2050年に中国の乗用車台数の60%に相当し、2050年までに輸送部門の電力消費量が20倍成長すると考えられているものの、2010年から2050年までの間に67%増加する。建築部門における排出量は、2050年までに30%減少するだろう。

シナリオ分析の結果、国家経済の大規模な脱炭素化への転換は可能であり、その目標は次のような開発の優先事項と合致しうる。すなわち、①国のエネルギー消費の削減、②エネルギー

13 本節の大規模脱炭素化モデル結果の出所はDDPPプロジェクト (SDSN/IDDRI, 2014; Teng et al., 2015)。

構造の改善、③石炭消費の制限とその利用の先進的制御、④天然ガスと非化石燃料エネルギー源のTPESの35%までの引き上げ、⑤エネルギー集約度の高い製品製造の2020年以降の安定化、⑥エネルギー効率が改善されたより効率的でクリーンな工業生産、⑦新しい建築物や公的消費に対するより高い省エネ基準、などである。

大規模な脱炭素化シナリオにおいて、中国のエネルギー関連CO₂排出は2030年までに11.5ギガCO₂トンのピークレベルまで増加し、2050年までに5.2ギガCO₂トン（2010年レベルより37%減）まで次第に減少する。これは非常に野心的なシナリオだが、「2℃目標」に合致する1990年レベル比50%排出削減を導くものではない。

日本

1990年以降、日本経済は年間約1%の緩やかなGDP成長率を示してきた。2015年までに国のGDPは1990年レベルより25%増加した。同時期、一次エネルギー総供給量はわずか3.5%増だった一方、エネルギー関連CO₂排出量は18%増え、国のGHG排出量全体で7%増えた¹⁴。

エネルギー及び気候変動緩和策の国の政策は、2011年の東日本大震災の重大な影響を受け、それは1900年以降に世界で起こった4番目の大きな地震だった。続いて起こった津波が福島第一原子力発電所の3つの原子炉の事故を引き起こした。世界銀行はその経済的損失を2350億ドルと見積もった。その直前の2010年に更新された日本の長期エネルギー計画は、2030年までに新たに14の発電所を建設して原子力発電を拡大するとしていた。

2014年に出された新たな日本のエネルギー基本計画（METI, 2014）は、第4次環境基本計画に対応し、2050年までに80%のGHG排出量の削減を目指している。パリ協定に対する日本の貢献は2015年7月に出され、2030年までに2013年よりも26%下回るという長期目標を設定した（Japan INDC, 2015）。

2050年までに1990年レベルより80%下回るという日本のGHG排出目標は、エネルギー関連CO₂排出量のレベルとしては2050年で一人当たり2.1 CO₂トン（一人当たり8.8 CO₂トンの現在レベルから75%削減）と理解され、大規模な脱炭素化目標とほぼ一致する（Kainuma, 2015）。

日本の大規模な脱炭素化の3つの主なシナリオは次のように説明される（経済成長が継続する仮定に基づく）。

- 1) Mixedシナリオ：さまざまなエネルギー効率策の展開を通じて、エネルギー需要の大規模な削減を図る強力な行動による脱炭素化。すなわち、CCSや再生可能エネルギーの大規模展開を通じた電力炭素集約度の97%削減、最終エネルギーの45%以上に達するエンドユーザーにおける低炭素電力の幅広い普及などである。このシナリオは、すべての

14 本節の大規模な脱炭素化モデルの結果の出所はDDPPプロジェクト（SDSN/IDDRI, 2014; Kainuma et al., 2015）による。

原発は40～50年を超えて稼働せず、発電に占める原子力の割合は2030年で19%、2050年で5%という仮定の下で、原発の部分的で段階的な廃止を想定している。

- 2) No Nuclearシナリオ：2014年以降、原発が再稼働しないという仮定による、原発の完全な段階的廃止。
- 3) Limited CCSシナリオ：CCS技術程度に関する不確実性により、CCSの利用拡大とは別の脱炭素化策を考えるシナリオ（Mixedシナリオより50%小規模）。

すべてのシナリオにおいて、エネルギー関連CO₂排出量は2050年までに2010年レベルより84%まで減少し、80%のGHG排出削減目標は2050年に達成されうる。

エネルギー部門

化石燃料の利用は、エネルギー需要の強力な削減や再生可能エネルギー源を中心とする非化石燃料の供給展開を通じて、実質的に削減されうる。脱炭素化シナリオにおいて、化石燃料消費は2050年までに2010年レベルより約60%少なくなる。

エネルギー供給の構造はシナリオにより大きく異なる。一次エネルギーにおける再生可能エネルギー（水力を含む）の割合はかなり増えるが、その大きさはシナリオの考え方による。MixedシナリオとNo Nuclearシナリオでは、再生可能エネルギーが2050年の一次エネルギー総供給量の35%以上を占め、Limited CCSシナリオではそれ以上（49%）となる。

天然ガスと石油は工業と貨物輸送部門で中心として残るだろうが、石炭は再生可能エネルギーや天然ガスに代替され、2050年までに段階的にほぼ使われなくなるだろう。原子力発電の役割はMixedシナリオとLimited CCSシナリオで大きく減じ、再生可能エネルギー（水力を含む）が中～長期でそれぞれ59%、85%まで増える。

太陽光と風力発電の大規模な展開によるシナリオは、No Nuclearシナリオで考えられており、特に中期的に、天然ガスと再生可能エネルギーが原子力発電の空白を埋める重要な役割を増していく。天然ガス発電の割合はCCSとともに2030年後に大きくなり、2050年にはMixedシナリオとNo Nuclearシナリオで全発電量の約3分の1に達する。CCSなしのLNG発電所はすべてのシナリオでつなぎ的な技術の役割を果たす。CCSなしの石炭発電は高炭素集約度のため2050年までに完全に消滅する。再生可能エネルギー及び（または）CCSを伴う天然ガスの大規模な展開により、発電の炭素集約度は2050年までにすべてのシナリオでほぼゼロまで減少する。

建築・建設

建築部門では、最終エネルギー需要が2050年に2010年レベルより60～70%下回ると共に、エネルギー消費が大きく減少することになるだろう。電化と発電の脱炭素化により、建築部門（居住用と商業用の両方で）におけるCO₂排出量は2050年にほぼゼロに達することができる。

輸送

輸送部門において、CO₂排出量は2050年に2010年レベルより82%まで下回るようになるだろう。人口減少の結果として全旅客移動が10%減少し、全貨物移動が28%増加し、22%の貨物輸送とGDPの切り離しにより、このことが達成されうる。この排出量減少の主な誘因は、

旅客輸送と貨物輸送におけるエネルギー量のそれぞれ77%減と63%減を導く効率的な移動手段の普及から得られる総輸送エネルギー需要の69%削減にある。こうした効率性向上は、化石燃料から電気や水素への転換に関係している。電気化の役割は重要で、その電力量は旅客輸送部門における総最終エネルギー消費量のおよそ半分に相当する。貨物輸送では、現段階で大きな貨物自動車は電気自動車（EV）を採用できそうもなく、2050年の電気化は比較的ゆっくりとしか進まない。しかし、燃費の向上と水素や天然ガスへの転換のおかげで、液体化石燃料の需要は大きく減少している。

工業

工業部門は2050年における最大のその他排出源であり、その時にはエネルギー関連排出量のほぼ60%を占める。このことは、高熱での燃料需要を低炭素のもので代替することが難しいことから説明できる。2050年におけるそのエネルギー消費は、GDPの成長にもかかわらず、エネルギー効率策の展開により2010年レベルに対し35%減少されうる。しかし、日本では工業プロセスがすでに効率化されており、2050年でもエネルギー集約的な重工業が全工業の大きな割合を維持することから、エネルギー効率の改善はその他の部門に比べ緩やかである。

投資額と省エネ

2020年から2030年の年間平均投資額は4兆円、あるいはすべてのシナリオにおける省エネでの限界便益を伴って2030年のGDPの約0.5～0.7%に達する。しかし、より長期的な水準では、2045年から2050年の間にMixedシナリオにおいてネガティブコスト（回避しうる費用）を生む省エネによって、6兆円に上る投資額増がもたらされる。一定の回避しうるエネルギーシステム費用の合計結果は3つのシナリオにおいて有効である。Limited CCSシナリオでは、再生可能エネルギーが長期的に追加展開されることにより、平均投資額がMixedシナリオに比べて増加するが、省エネもまた化石燃料輸入のコストを抑えるためより有効である。すべての大規模な脱炭素化シナリオは、2010年から2050年の年平均成長率を0.93%とする、わずかな減速を示している。

モンゴル

1990年から2015年の間、モンゴル経済は年間GDP成長率で大きな変動を経験した。1990年代初めの8～9%減から、1995年から2008年の1.2～10.6%増へ、2009年のマイナス1.2%の急落、2011年の17.3%という空前の活況、2015年の2.3%のスローダウンと続いた。国の経済構造は大きく変動し、国際商品市場、特に国家収入の大きな割合を占める石炭・金属市場に大きく依存してきた。天然資源の割合は、最も高い2011年でGDPの59.3%に達した（World Bank, 2016）。

モンゴルは、1990年代初めに始まるこの転換期を通じた経済発展と課題の解決に取り組んできた。最初の景気後退と経済の段階的な回復にもかかわらず、国はさまざまな問題で一定の前進を果たすことができた。例えば、平均寿命は1990年の60.3歳から2015年の69.5歳に伸びた。人口は1990年の218万人から2015年の296万人に36%増えた。名目GDPは1990

年の28億ドルから2015年の118億ドルに4.2倍増加した。一人当たり国民所得は1990年の1430ドルから2015年の3830ドルまで2.7倍となった。貧困率は2010年の38%から2014年の21%に減少した（World Bank, 2016）。

現在、モンゴル経済は大きな対外的ショック（石炭、金属、鉱物の国際市場における大幅な価格の下落）、非常に大きな対外債務（2005年以来の公的及び民間債務は200億ドル、GDPの175%に上る）、中国の経済成長のスローダウンとロシア経済の後退に直面している。

エネルギー部門は大きな転換を経験しており、一次エネルギー総供給量は1990年の3.4 Mtoeから2013年の15.2 Mtoeに増えた。石炭がモンゴルにおけるエネルギー供給の主要な資源である。エネルギー関連のCO₂総排出量は2013年で1870万CO₂トンに達した。電熱部門が支配的な炭素排出源－年間1100万CO₂トンとなっており、製造業、輸送、住宅部門がそれぞれ年間約200万CO₂トンとなっている（2013年）。しかし、電力生産における再生可能エネルギー資源の割合が増加し、2015年で3.1%となり、風力が再生可能エネルギー発電の72%に上った（ERC, 2015）。

将来の発展の予想は、現在の経済の停滞と国際商品市場が回復するという肯定的な兆候の欠如に影響されている。しかし、世界銀行の見通しは、GDPの成長を2017年で2.7%、2018年で6.3%と示している。モンゴルは石炭、銅、金、鉄鉱石、鉛、モリブデン、ウラン、その他鉱物の大きな埋蔵量を持ち、その豊かな天然資源を梃子としたさらなる経済成長が可能である。主な石炭鉱床はシャリングル（約700億トン）とタバントルゴイ（約100億トン）に位置している。

現在、経済発展の見通しは、鉱物資源の採掘と輸出の拡大にほぼリンクしている。採掘資源の輸出は急増した2011年でモンゴルの全輸出の89.2%に達し、2015年は78.8%に減少した（NSO, 2015）。しかし、モンゴルのさらなる経済成長の持続性は、その鉱物の収益を有効に使い、経済を現在の鉱物ベースからいかに多様化させるかに掛かっている。

炭素排出量の長期見通しは、第2次国別報告書（MNET, 2010）で作成されている。特に、オユトルゴイやタバントルゴイなどの大規模鉱業プロジェクトが拡大されれば、GHG排出量の上昇が工業において（2006年レベルに対して2020年で4.3倍、2030年で7倍）、住宅部門で（2020年までに1.8倍、2030年までに2.6倍）、輸送において（2020年までに2.5倍、2030年までに4.9倍）見込まれる。

エネルギー関連のGHG総排出量は、2010年の500万CO₂トンから2030年の1750万CO₂トンに増える見込まれている。輸送部門が支配的で（エネルギー利用によるGHG総排出量の約45%）、工業と家庭からの排出がそれぞれ約20%を占め、商業と農業からそれぞれ約5%と予想されている。2010年から2030年の間で、GHG総排出量は2000万CO₂トンから5100万CO₂トンに増え、年間増加率は約9%と予想されている（MNET, 2010）。

これらの見積もりは、経済発展が2006年に推測されたほどには急速でも安定的でもなかったため、非常に「楽天的」に考えられている。鉱物その他原材料の対外市場への依存はモンゴルの経済成長とエネルギー消費を制限し続けるだろうが、他方、現在みられるような先進技術のさらなる利用趨勢は、GDPの成長と炭素排出を別のものにする助けとなるだろう。

「脱炭素化シナリオ」はモンゴルにとって、国際協力プロジェクトなしで急速に進むとは考えにくい、可能なものである。一つの例として、南戈壁砂漠における風力・太陽光発電容量100～120 GWのゴビテック・プロジェクトが大規模イニシアチブとして考えられており、それは国のエネルギー需要を満足させ、北東アジア各国への「グリーン」エネルギー輸出から大きな収益を生むことができる。そのためにも、モンゴル、中国、韓国、日本を結ぶ非常に効率的な電力ネットワークとしてアジアスーパーグリッド・プロジェクトが提案され、近年広く議論されている。

しかし、こうした「グリーン」エネルギー開発とは別のものがある。地方のビジネスはモンゴルの石炭埋蔵量に高い関心を示しており、炭素排出を国内にとどめつつ中国へ電力を輸出するため、中国国境の近くに100 GWを超える石炭火力発電所を設置する大規模プロジェクトを提案している。もちろん、こうした開発への道は、CO₂総排出量を劇的に増やし、モンゴルと中国の両国における脱炭素化プロジェクトを損なうことになるだろう。

石炭火力発電所のケースでも、あるいは国の北方に隣接するバイカル湖に影響する可能性のある水力発電プロジェクトでも、モンゴルでエネルギープロジェクトを計画するときは、環境影響評価を行うことが最も重要である。多くの場合、モンゴルの地方（県＝アイマグ）における経済発展プロジェクトは適応策と緩和策の双方を支援することになり、気候変動による悪影響と水資源不足に悩む西モンゴルでは、適応策のケースとなりうるだろう。国の南部、中央部、東部でも同じような課題がある。

かなり現実的なこととして、一人当たりCO₂排出量を現在の6.6 CO₂トンから1.7～2.0 CO₂トンに削減する脱炭素化シナリオが考えられている。しかし、このシナリオはエネルギー、工業、輸送、農業、森林、その他部門における投資プロジェクトを実施する上で対外的・国際的な支援なしでは達成されないシナリオだと理解される。

ロシア

ロシアは国土の広さにおいて世界でもっとも大きな国であり、それは16億ヘクタールに及ぶ。世界でもっとも広大な森林8億7100万ヘクタール（国土の51%）を擁し、世界の森林地帯の20.1%をカバーしている。世界の木材資源量において、ロシアはブラジルに次ぐ第2位で、815億立方メートル（世界の資源量の約4分の1）に達する。農用地は2億2060万ヘクタール（世界の耕作地の10%）に上る。

主として1990年代の危機以後のロシア経済の大規模な再構築、工業生産における構造的・技術的变化（軍事部門、重工業、技術ベースの現代化の衰退）、低炭素部門の成長（サービス業が約20%から50%以上へ）により、1990年以来、国のGHG排出量（土地利用と森林を除く）は29%減少し、1990年の3940百万CO₂換算トンから2014年の2812百万CO₂換算トンとなった。

化石燃料の採掘、移動、消費がこの国の主要なGHG排出源を構成している。2014年、燃料燃焼（51%）、湧出メタン排出（33%）などのエネルギー部門からのGHG排出量は2355

百万CO₂換算トン（GHG総排出量の84%）となった。GHG総排出量の中ではCO₂排出量が支配的で2014年で59.5%に達している。土地利用と森林部門はロシアで非常に重要である。LULUCF部門における炭素分離は、2014年に513百万CO₂トンの純除去量に達している。

ロシアのCO₂排出の経済的モデル作成は電熱生産、工業（金属、セメント、化学、石油化学）、住宅・商業建築、輸送部門で行われた¹⁵。

脱炭素化シナリオの目標排出レベルは2050年までに一人当たり1.7 CO₂トン（2010年～2013年の平均レベルである一人当たり10.8 CO₂トンを84%下回る）に設定された。この数値はロシア国民経済アカデミー（RANEPА）と高等経済学院からの調査チームにより作成されたRU-TIMESモデルに基づいている。

中心となる脱炭素化シナリオは、エネルギー関連CO₂排出量を2010年の1422百万CO₂トンから2050年の200百万CO₂トンまで急速に減少することとした。この目標の達成には、2010年から2050年の間にTPESの27%減が必要とされる一方、エネルギー生産構造は大きく変わり、石炭利用をTPESの3%（その半分はCCSを伴う）まで落とし、天然ガスを36%（その半分はCCSを伴う）に伸ばし、石油を7%に減らし、再生可能エネルギーの割合を33%に引き上げ、原子力を22%にしなければならない。

最終エネルギー消費（FEC）は2010年の20 EJから2050年の15 EJまで減少し、石炭利用はFECの2%に減り、ガスは23%に、液体燃料（バイオ燃料を含む）は17%に大きく転換しなければならないだろう。再生可能エネルギーの割合は、大規模水力を除き、エネルギーバランスにおいて2010年のほぼ0%から2050年の10%まで引き上げなければならない。

電力部門

電力部門は、ロシア経済の脱炭素化における鍵となる。ロシアの電力部門は700の熱電（ほとんどが併給）施設がある。全設備容量は約255 GWに上り、その内、ゼロ・エミッション容量は水力の46 GWと原子力発電所の23 GWである。およそ150 GWの容量はピーク荷重に達している。

多くの天然ガス及び石炭火力発電所（その70%が40年以上稼働している）が来る数十年の内に寿命が来ることが想定され、工業部門に大きな課題とユニークな機会をもたらしている。最新の高効率技術に基づく、主として炭素フリーの方法による近代化は、エネルギー効率を改善するだけでなく、この部門の長期展望においてGHG排出量を大きく削減することだろう。そうではなく、新たに設置される化石燃料ベースのエネルギー施設が今後40～50年稼働しなければならない時には、ロシアは炭素ロック状況に陥り、工業は大きな炭素排出の足跡を残すことになってしまうだろう。

原子力や大規模水力発電の増設（「ロスアトム」と「ロスハイドロ」により計画されたが現在は資金が不足している）やエネルギーミックスにおける再生可能エネルギーの割合の増加など、国内の発電部門を脱炭素化するため、一連の長期発展オプションが想定されている。分析

15 本節の大規模な脱炭素化モデル作成結果に関する出所はDDPPプロジェクト（SDSN/IDDRI, 2014, Russia Chapter by O.Lugovoy, RANEPА, G.Safonov, HSE, V.Potashnikov, RANEPА, V.Gordeev, RANEPА）。

によれば、再生可能エネルギーの成長は主として風力や太陽光発電で実現されう一方、小水力、潮力、地熱も（地方のエネルギー供給における重要性を通じて）国のすべてのエネルギーミックスにおいて一定の役割を果たすだろう。

IEAの概括的な技術レビューによれば（IEA, 2014）、CCSは商業的に実現性があり、2030年以降、発電部門で採用されうると推定されている。ロシアにおける大規模な脱炭素化の目標を達成するために、ほとんどの化石燃料火力発電所が2050年までにCCS技術を利用するだろう。

工業

エネルギー集約度の高い工業生産高は次の40年間で、鉄・鉄鋼生産で26%（6600万トンから8300万トン）、セメントで41%（4900万トンから6900万トン）、その他10%と、大きく成長すると見られている。鉄・鉄鋼生産の発展は、溶鉱炉のガスリサイクル技術の採用により、33%以上のエネルギー効率の改善を導くことができる。

その他のエネルギー集約度の高い工業の過程はさまざまであり、主に工業の電化とエネルギー効率の成長による一定の脱炭素化の可能性が考えられる。

建築・建設

商業ビルや住宅部門は、ロシアにおいてエネルギー効率向上の莫大な可能性を持っている。75%の熱はセントラル・ヒート・パイプライン網により供給され、その70~80%は償却が終わっている。脱炭素化シナリオでは、2050年までに一人当たりの居住面積が30%増える（EUの居住面積に近づく）と想定されている。2050年までの人口減少はこの部門の重要な要素となるだろう。建築に係るエネルギー消費は、エネルギーミックスがバイオマス、電気、ヒートポンプの利用拡大などに変化していくことで、少なくとも6分の1になるとされている。

輸送

輸送に関する低炭素の手段は、中期的には液化石油ガス（LPG）エンジン、長期的にはバイオ燃料の利用増を含む。電気自動車は、技術が向上すれば一気に拡大するだろうが、ロシアの地方は低温であるために、ややゆっくりとしか拡大していない。LPGやバイオ燃料の内燃エンジンを積んだプラグイン・ハイブリッド自動車はより優勢になるだろう。航空機はバイオ燃料の利用やエネルギー効率の向上による利益を受けることができる。第2世代液体バイオ燃料を生産する国内の革新技術は利用可能だが、まだ商業化に至っていない。貨物輸送は2050年までに80%増加すると考えられ、中期的には液化ガスの利用により、長期的にはバイオ燃料、ハイブリッド、電気エンジンにより脱炭素化が可能であろう。この部門でもっともGHGを排出するのは、技術的なエネルギー消費や湧出メタン排出によるパイプライン輸送である。

森林及び土地利用

この部門はロシアの脱炭素化戦略において重要な役割を果たすとされている。現在、CO₂の純除去量はおよそ5億~6億CO₂トンだが、森林の老齢化、材木の伐採増、森林火災、森林の病気などにより、2040年代にはCO₂の除去量は1億CO₂トンに減少すると予想されている。したがって、ロシアの森林の炭素隔離容量を維持するために、緊急の森林管理や適応政策・手段が求められる。

韓国

韓国の経済発展は過去30年で傑出した結果を示してきた。貧困国からOECD、G20メンバー国に入る高所得国へ移行した。現在も経済は高成長を続けている。天然資源財産のない小さな国土で、韓国は経済発展のために輸出優先戦略を効果的に実施し、世界第7位の輸出国となった。

韓国経済の構造は、農業2.6%、工業39.2%、サービス業58.2%（2010年）となっている。韓国の経済は化石燃料に大きく依存している（TPES¹⁶の85%）。化石燃料の97%は輸入されている。原子力エネルギーは一次エネルギー供給量の13%を占めている（2010年）。

韓国は1990年から2012年の間で、2億6000万CO₂換算トンから6億3700万CO₂換算トンへ、2.5倍増に上るGHG排出量の急増を見せた（LULUCFを含む）。2012年には、燃料燃焼によるGHG排出量が6億CO₂換算トンに達した（総排出量の87%、LULUCFを除く）。森林と土地利用における純炭素隔離量は5000万CO₂換算トンだった。エネルギー関連の主な炭素排出源は、発電と工業となっている。

国はグリーン経済発展と気候変動緩和策を目的とする多くの政策的イニシアチブを打ち出した。2008年、韓国政府はグリーン成長国家戦略（2009～2050年）を発表し、まずグリーン成長5カ年計画（2009～2013年）が出された。この長期計画には次の3つの主要目的がある。①気候変動緩和策とエネルギー自立性の推進、②グリーン技術・産業における投資を通じた経済成長への新たなインセンティブの推進、③環境パフォーマンスと輸送・ライフスタイルの「グリーン化」の向上及び2050年までの近代的サービス部門の拡大である。次の第2次グリーン成長5カ年計画（2014～2018年）では、明確なGHG排出量削減方法、持続可能なエネルギーシステム、気候変動対応策に焦点を当てた。

低炭素・グリーン成長基本法（2010年4月）は、GHG排出量削減について2020年までに自然体レベルで30%下回るという国の自主的な目標を定めた。2011年7月に政府は部門別年間排出目標を決定した。2012年、韓国は温室効果ガス排出権の割当及び取引に関する法律を採択し、特定部門に対するGHG・エネルギー目標管理制度（TMS）を打ち出した。2014年1月、温室効果ガス排出量削減国家ロードマップが発表され、続いて2015年には525の事業者をカバーする国の排出取引スキームが打ち出された。

韓国のINDCは、GHG排出量を自然体レベルで2030年までに37%下回る（5億3600万CO₂換算トン、1990年レベルの106%）という国の目標を提出した。より長期的な見通しでは、韓国はこの2030年目標が、2050年までに40～70%の排出量削減をするという世界的な目標と調和していると考えている。

脱炭素化の道筋による分析は、次のような仮定に基づいている¹⁷。2050年に一人当たり1.7 CO₂トンという世界的目標があり、脱炭素化の道筋によれば、韓国経済はエネルギー関連

16 TPESは「total primary energy supply（一次エネルギー総供給量）」の略。

17 本節の大規模な脱炭素化の分析の出所はDDPPプロジェクト（SDSN/IDDRI, 2014; Korea Chapter by Soogil Young et al.）。

CO₂排出量を2010年の5億6000万CO₂トンから2050年の8200万CO₂トンまで85.4%削減する必要がある

エネルギー部門

エネルギー効率の大きな改善及び石油と石炭の利用がほぼ完全になくなっていくという燃料ミックスの変化を通じて、エネルギー消費の抜本的な減少（最終エネルギー消費でマイナス37.2%）の可能性が見出されている。他の基準では、最終利用電化率を2050年に60.7%まで引き上げる（2010年で約10%）、発電の炭素集約度を大きく減少させる（kWh当たり531 CO₂グラムから41 CO₂グラム）、炭素回収・貯留（CCS）技術、風力、太陽光発電、その他原子力を含めた再生可能エネルギーの広範囲の利用が求められている。この場合のみ、電力の炭素集約度はkWh当たり531 CO₂グラムから41 CO₂グラムに減少される。再生可能エネルギーの導入規模は大きく、風力は発電総量の14%（必要容量51 GW）、太陽光は31%（193 GW）を提供するだろう。残りのエネルギーは原子力（約47 GW）でカバーされる。再生可能エネルギーの展開は、大規模な再生可能エネルギーの配給による電力システムへの転換が必要であり、ネットワークのバランス、バックアップ施設の有効性、エネルギー貯蔵などの問題を提起している。

構造転換

低炭素経済の発展は第2次産業部門における構造転換に影響し、金属工業の割合が増加する一方、セメント、石油化学、鉄・鉄鋼、その他重工業が減少するだろう。

製造業

製造業は、軽工業・重工業のエネルギー集約度が3分の1から6分の1に減少するような効率性の改善を通じて、2050年までにほぼ完全に脱炭素化（1640万CO₂トン）するだろう。重工業の熱電併給プラントで化石燃料の20%が、軽工業の熱電併給プラントの展開で30%の燃料が代替され、軽工業と重工業でそれぞれ28%、72%まで電化が進むだろう。

建築

LED照明の普及（2050年までに100%）、高効率の冷暖房新技術、主にバイオマス熱電併給による化石燃料代替、再生可能エネルギーの利用など。

輸送

化石燃料自動車の効率向上、バイオ燃料の普及、車両の徹底した電化（在庫の80%）、公共交通による70%の乗用車代替、鉄道貨物による78%の道路貨物代替など。

脱炭素化の代替シナリオは、2050年までに石炭発電の76%にCCSを導入し、石炭発電以外には再生可能エネルギーや原子力を充てるなど、CCS技術の展開に焦点を当てている。また、主に原子力に基づく道筋も示され、2050年までに84 GWの原子力発電、29 GWの風力、14 GWの太陽光発電の設置が必要とされている。

北朝鮮

北朝鮮の経済構造は、農業・林業・漁業22%、鉱業・製造業・電気・ガス・水28%、建設8%、

サービス業32%となっている（2008年）。北朝鮮の経済発展の長期見通しは限られたものしかなく、信頼に足るものとは考えられそうもない。国に課せられた制裁の下で、もっとも不確実なものは南北朝鮮の統一問題であろう。

豊富で競争力のある労働力や、亜鉛、銅、ニッケル、マグネサイト、石炭、ウラニウム、鉄鉱石など北朝鮮の2008年のGDPの140倍の価値が見積もられる（Goldman Sachs, 2009）有望な鉱床など、国は大きな未開発のポテンシャルを有している。したがって、これらの資源を資本化し、鉱物資源の採掘や加工業、発電、輸送、サービス部門などの拡大を含め、長期的展望に立って経済成長を促していく可能性がある。

表8 北朝鮮における脱炭素化シナリオの一般的な仮説

	近年	2050年	2050/2010
人口（百万人） ¹⁾	25.2 (2010年)	26.9	107%
一人当たり実質GDP (2010年、ドル)	1,067 (2008年) ²⁾	NA (5～6倍増の可能性) ⁴⁾	
郊外人口割合	40% (2008年) ²⁾	NA (韓国に対して10～20%減の可能性) ⁴⁾	
GDPにおける サービス業の割合	32% (2008年) ²⁾	NA (韓国に対して40～60%増の可能性) ⁴⁾	
エネルギー関連CO ₂ 排出量 (MtCO ₂)	48 (2013年) ³⁾	NA (急成長ケースで60～80MtCO ₂ の可能性) ⁴⁾	

出所：¹⁾ UN, 2015、²⁾ Goldman Sachs, 2009、³⁾ IEA, 2015b、⁴⁾ 筆者算定

国のGHG排出量は1990年から2000年の間に2億750万CO₂換算トンから8190万CO₂換算トンに減少し、61%という空前の削減を示した（UNFCCCへの北朝鮮の国別インベントリ報告書）。同時に、この期間のエネルギー関連CO₂排出量は1億1700万CO₂トンから7000万CO₂トンに減少し、2013年には4800万CO₂トンまで落ち込んだ（EIA, 2015）。現在のGHG排出量は5800万～6000万CO₂換算トン程度、または1990年レベルより約75%減と見積もられ、このことは国の経済成長を犠牲にして経済がすでに脱炭素化されていることを意味している。

2020年までの公式な見通しによれば、国のGHG総排出量は1990年レベルより37.4%低い2000年レベルより84.4%増の1億2120万CO₂換算トンに上昇する（DPRK, 2012）。2020年までに、エネルギー部門は最大の排出源で、国のGHG排出量の89%に相当するだろう。GHG排出削減の可能性は2020年までに年間3570万CO₂換算トン程度と見積もられている。中期、そして長期における脱炭素化プロセスのためのGHG緩和戦略・政策・方策は次のようなものである。

エネルギー供給

既存のエネルギー施設の技術の現代化、再生可能エネルギー資源の開発と利用

輸送

輸送管理システムの現代化と改善、重軌条の導入と鉄道の現代化、頑強で高速な道路、公共交通、徒歩と自転車利用

建築・建設

エネルギー効率の向上、効率的な照明、住居用燃料の節約、太陽熱と温水供給、冷暖房用地熱エネルギー、断熱材の改善、エネルギー効率基準

工業

クリーン生産とエネルギー効率の向上、省エネ、生産技術の現代化

農業

自然通水灌漑システム、農家での機械化、先進の農業理論、肥料や灌漑の効果的な利用

廃棄物管理

総合的な固形廃棄物管理、有機廃棄物の堆肥化、廃棄物のリサイクル、下水処理管理

森林

保護・管理、森林吸収源によるCO₂除去は年平均成長率を2.7%として2020年までに3240万CO₂換算トンに達しうる。

北朝鮮はCDMプロジェクトの開発を経験し、6つのプロジェクトが登録され、さらに多くのものが批准あるいは実施に向け検討された。このような緩和プロジェクトや気候変動対応プロジェクトは制裁対象外とみなされ、グリーン技術の提供やプロジェクトに関連する環境的・社会経済的な利益に加えて、国の貨幣収入を生む可能性がある。

もしもすべての排出削減可能性が実施され、経済成長が来る数十年で実現されれば、エネルギー関連の排出量は2050年までに最大で6000万～8000万CO₂トンとなるだろう（表8）。

第5章 共にもっと出来ること

5.1. 域内協力で出来ること－「義務」vs「クリーンな」開発

北東アジア地域における現在の経済発展戦略・プログラムは、化石燃料の採掘・移動・消費をベースとした伝統的なエネルギーシステム拡大のための計画が圧倒的に多い。この例は多数あり、大規模な国際プロジェクトを含んでいる。例えば、中国や将来的には日本、韓国、その他アジア各国に供給されるモンゴルの巨大なタバントルゴイ石炭鉱床の開発（Brletich, 2015）、ロシアのヤクーチアとイルクーツクから中国への「シベリアの力」ガスパイプライン・プロジェクト、サハリンと沿海地方におけるLNGプロジェクト、ヤクーチアとサハリンにおいて増大する石油採掘、ナホトカとデ・カストリにおける原油輸出ターミナルの近代化、日本、中国、韓国、台湾への石炭輸出のためのロシア極東港湾の能力の3倍増強などである（Maritime News of Russia, 2013）。

これらの事業は地域の石炭とガスの利用を促進し、結局は高レベルの炭素排出の維持と「炭素に縛られた」状況を招き、化石燃料火力発電所への新たな資本投資とインフラの引渡しから40～50年の間、炭素ゼロ技術に転換しようとする意欲を減退させてしまうだろう。

再生可能エネルギー資源のデータを調べれば、北東アジア各国すべてで大きな可能性があることがわかる。表9は、風力、太陽光、水力、地熱、潮力、バイオマスの技術的可能性の概要である。これらの再生可能エネルギー資源は傑出した可能性を有しており、沿岸及び沖合の風力発電の容量は6300 GW以上、太陽光は1万GW以上、水力とバイオマスはそれぞれ850 GW以上、潮力は168 GW以上、地熱は34 GW以上に達しうる。1万8000 GW以上になる技術的可能性の合計は、中国で設置された1505 GWの世界最大のエネルギーシステムの12倍以上、現在のロシアの72倍にもなる極めて大きなものである。

すべての技術的可能性が合理的な費用で利用可能なわけではない。しかし、ゼロ炭素エネルギーの選択肢として真剣に考えるべきいくつかの理由がある。

表9 北東アジア各国の再生可能エネルギー資源の技術的利用可能性

国	風力	太陽光	水力	バイオマス	地熱	潮力
中国 ¹⁾	2750 GW	>2200 GW	>400 GW	273-648 Mtce/y	na	>174 GW
日本 ²⁾	1800 GW	350 GW	44 GW	na	14 GW	>44 GW
ロシア（シベリア極東） ³⁾	3910 TWh/y	2300 Mtce/y	1441 TWh/y	>250 GW	>20 GW	>100 GW
モンゴル ⁴⁾	900-1100 GW	>1000 GW	6.4 GW	na	na	-
韓国 ⁵⁾	186.5 TWh/y	10.4 TWh/y	na	na	na	>4 GW
総推計	>6,300 GW	>10,000 GW	>850 GW	>850 GW	>34 GW	>322 GW

出所：¹⁾ CNREC (2012)、²⁾ IRENA (2014b)、³⁾ Ministry of the Environment of Japan (2003)、⁴⁾ GENI (2012)、⁵⁾ IEA/OECD (2003)、⁶⁾ Oxford Business Group (2014)、⁷⁾ World Bank/Australian Aid (2013) に基づき筆者算定。

注：発電容量は出所元が提供する異なる単位（GW、TWh、tce）で算定されている。

コスト

気候にやさしい開発の必要性についての科学的な議論とは異なり、コストの問題は明確な技術的選択肢において実際に進めようとする強いインセンティブとなる。ここ30年間、再生可能エネルギーのコストは劇的に下落してきた。例えば、太陽光発電パネルの価格はこの40年で、設置容量1ワット当たり76ドルから0.3ドル、およそ300分の1に減少した。風力、バイオ燃料、その他の再生可能エネルギーでも価格の低下があった（しかし、原子力発電は高コストが続いている）。再生可能エネルギーの「学習曲線」は2050年までにさらに30~77%（別の技術のための）費用削減を導くだろう（Safonov, et al. 2016）。

もし炭素価格メカニズムが世界規模で効力を発し¹⁸、十分に高いレベル（CO₂トン当たり30ユーロ以上程度）に達することになれば、炭素フリーのエネルギーの相対的な優位性は一気に増し、化石燃料ベースの技術は避けようもない「収縮効果」に直面するだろう。伝統的エネルギーの生産者たちへのこうしたインパクトはすでにドイツに見られ、大手エネルギー会社のRWEが「グリーンエネルギー」の優先的支出の基準により大きな損失・減資を被った¹⁹。

「2℃目標より十分に低く」、2050年までに先進16カ国のGHG排出量を50%まで削減することを目指す世界経済の大規模な脱炭素化の投資コストは、マクロレベルで、GDPの0.8~1.3%と同等と見積もられている。これらの資本投資はある程度、各国のGDPに対して増加していくものと考えられ、単なる「脱炭素化コスト」としては図れない可能性がある。それらはエネルギー部門だけではなく、輸送、インフラ、建設、農業、森林、金属、セメント生産、その他産業にも関係してくる。これらの「コスト」は気候変動の影響を回避するための適正な値段段として考えることもでき、「緩和策なし」シナリオにおいて世界の年間GDPの5~20%と見積もられている（Stern, 2006）。

投資と資金

2013年以来、新たに導入された再生可能エネルギー容量は、化石燃料の導入容量を上回るものだった。2014年の新たな再生可能エネルギー発電容量（大規模水力を含む）の総投資額は2億6500万ドル以上に上り、化石燃料発電容量の年間投資相当額の2倍以上となった。

化石燃料に対する補助金を減らしていくための世界的な取り組みが発表され、その定義や計算方法にもよるが、年間5500億~5.6兆ドルに上る化石燃料及び原子力発電の両方の補助金に影響しそうな状況である。これらの補助金の10~20%が、例えば石炭から再生可能エネルギーへ「転換」される場合、後者は高炭素価格を導入するのと同様の大きな促進効果を経験することになるだろう。

気候問題と炭素基準を強化する不安は、世界の主なプレーヤーたちの投資戦略に影響を及ぼ

18 炭素価格リーダーシップ連合が74カ国1000社以上の企業の支持を受けて2015年のCOP21で正式に発足した。24兆ドル以上を代表する380以上の投資家たちが「安定的で信頼できる経済的で有意義な炭素価格を提供し、気候変動の課題の大きさにふさわしい投資に方向性を変える」ように政府を促した。

19 最近の年刊・季刊の会計報告によれば、RWEの資本は、2007年12月の5420万ユーロから2016年7月の970万ユーロに減少した。

すようになった。世界銀行、IFC、EBRD、ADBなどのすべての国際金融機関は、世界中の新たな石炭プロジェクトへの融資に反対してきている。このことは、例えばベトナムのエネルギー戦略の改定に繋がり、10カ所の新たな石炭火力発電所の建設を中止させた。ロシアの3つの石炭プロジェクトは、脱炭素化政策を採用したノルウェー国家年金基金の石炭投資（資産価値1兆ドル以上）の中止に悩むこととなった。アリアンツなどのいくつかの世界的な保険会社も、炭素集約プロジェクトを回避する決定を下した。2015年9月までに、資産2.6兆ドルを代表する43カ国436の機関投資家及び2000以上の個人投資家が化石燃料企業からの撤退を約束した（Arabella Advisors, 2015）。わずか1年で脱炭素化投資が50倍に増えるほどの、こうしたプロセスの原動力は極めて印象的である。

個人投資家でさえも、「クリーン」な資産をより魅力的だと考えている。例えばこの5年間、全米の「環境と気候にやさしい」トップ400社（KLD）の指数は、ダウジョーンズと比べ、+51.99%対+44.88%（2016年7月14日）と、優勢な指数を示している。炭素排出に中立なプロジェクトや企業に賛同する機関投資家（アメリカとEUで資産50兆ドル以上）のポートフォリオの変更は、脱炭素化経済への意向をさらに促進することになるだろう。グリーン債、零細企業やスタートアップのためのクラウドファンディング、環境ラベル社債、クリーンエネルギープロジェクト債など、クリーンエネルギーの新たな金融商品が拡大してきている。

実際の経験

北東アジアの国々はすでに、再生可能エネルギーの利用で指導的な役割を示している。韓国で採択された「グリーン成長戦略」、日本の「新成長戦略」、中国の第12次五カ年計画、ロシアの「2030年までのエネルギー戦略」と2020年までの「エネルギー効率とエネルギー部門発展プログラム」、モンゴルの「グリーン発展政策」、北朝鮮の「再生可能エネルギー法」など、各国は明確な再生可能エネルギー目標に向けた戦略・政策を有している。

中国は、2014年のデータによれば、水力、太陽光、風力発電、太陽熱給湯などの再生可能エネルギー・燃料における年間投資額で世界第1位、バイオエタノール生産で第3位となっている。総設置容量でも、中国は水力、太陽光、風力発電、太陽熱給湯、地熱暖房で世界第1位、バイオ発電で第2位になっている（IRENA, 2015）。再生可能エネルギーの開発は、2005年の再生可能エネルギー法の採択によって促進された。再生可能エネルギーの総投資額は2004年から2015年の間で5050億ドルに上り、2004年の30億ドルから2015年の1030億ドルにロケット的な急成長を示した（UNEP, 2016）。

日本は、再生可能エネルギーにおける世界のリーダーの一つである。2014年は、再生可能エネルギーの年間投資額で世界第3位、太陽光への投資で第2位、太陽光発電と地熱給湯の総設置容量で第3位、バイオ発電容量で第5位だった（IRENA, 2015）。2030年までの非化石燃料エネルギーの国家目標は総発電量の44%と定められ、その内訳は原子力発電が20～22%、再生可能エネルギーが22～24%となっている（METI, 2014）。2014年だけで、日本は343億ドルを投資し（研究・開発を含む）、その内82%が小規模太陽光プロジェクトに使われた（IRENA, 2015）。集中的な科学的調査・発見・革新の発展のプロセスが全国各地で行

われた。新世代太陽光パネル、藍藻からの「緑の原油」生産、浮体式洋上風力発電（5MW以下）、燃料電池とハイブリッド自動車、その他多くの分野で最先端技術への懸命な努力が捧げられた（Schmidt, Watanabe, 2010）。各県では技術センターを置き、技術の商業化と世界的なプロモーションを支援している。国はそのためのさまざまな手段を講じており、それには気候変動緩和プロジェクトのために世界的に認められている（パリ協定のメカニズムの一つとしてみなされる）二国間クレジット制度が含まれる。

ロシアは、水力発電の設置容量（45 GW）で世界第5位にあり、国の電気供給量の約20%を提供している。その生産資産のほとんどは「ロスハイドロ」社に蓄積されている。ロシアでは、特にコーカサスとカムチャツカで地熱発電が長い間利用され、その技術はソ連の科学者や技術者によって開発された。しかし、エネルギーミックスにおける地熱発電の割合はわずかなものである。最大の地熱発電所は極東（カムチャツカとクリル諸島）にあり、その合計設置容量は80.1 MWである（Degtyariev, 2013）。ロシアは、主に木材と農業残渣からのバイオ燃料を生産し、EUへの木質ペレットの輸出でアメリカ、カナダに次ぐ第3位となっているが（2014年）、そのほとんどの生産は国の西部に位置している（IRENA, 2015）。ロシア東部におけるバイオ燃料の生産と輸出の可能性は莫大なものがあり、極東の木質廃棄物の生産だけで年間2400万立方メートルに上る（ERINA, 2016）。太陽光発電は拡大しており、太陽光発電施設がアルタイ、ヤクーチア、その他の連邦構成主体で設置あるいは計画されているが、2020年までに到達予定の全設置容量は1.5 GWと、かなり控えめである（Usachev, 2015）。風力発電も、いくつかの経験が極東（例えばベーリング島）でされているが、まだかなり限定的である。潮力発電は、ロシア極東のオホーツク海に面する2カ所のユニークな場所で実施が検討されている（87 GW以上のペンジン（Penzhin）潮力発電所プロジェクト、容量8GWのトゥグル湾（Tugrsky Bay）プロジェクト）。ロシアには、キスラヤ・グバ（Kislaya Guba）潮力発電所（1.7 MW）がロシア北西部で建設された1960年代以来の潮力発電事業の経験がある。

韓国は、潮力発電の可能性実現に非常に積極的である。2011年、総出力254 MWで世界最大の始華（Sihwa）湖潮力発電所が稼働を始めた。始華の発電コストは0.02ユーロ/kWhである。現在、これまでで最大となる仁川（Inchon）潮力発電所が発電容量1320 MW（年間電力生産量2.41 TWh）により建設中で、2017年6月に完成する予定である。また、発電容量520 MWの加露林湾（Garorim Bay）潮力発電所の建設が提案されている。この他にも5件の有望なプロジェクトが確認されている（IRENA, 2014）。韓国は国際バイオ燃料市場に対しても非常に積極的で、バイオマス原材料を輸入し、バイオ燃料を生産・消費している。韓国は、太陽電池や水素、太陽熱や太陽光発電、エネルギー効率、エネルギー原料や加工などの技術開発における世界的なリーダーの一つである。

北朝鮮は、その電力の70%が水力発電所により発電されている（IEA, 2016a）。設置容量1305 MWの4つの大きな水力発電所があり、中国と北朝鮮により運転されている。一次個体バイオ燃料の国内供給量は1990年から2013年の間で39.9 PJから45.7 PJに増えた（IEA, 2016b）。風力と太陽光発電が実験的なレベルでそこそこ利用されているが、ここ数年で増加してきた。北朝鮮は自国生産の風力と太陽光発電施設を持っている。国の長期計画は水力、風

力、太陽光、潮力、バイオマス、太陽電池発電を利用して、エネルギー生産を30年で5GW以上増加させるものである（IFES, 2016）。

モンゴルは、太陽光と風力資源で傑出した可能性を有している。2011年、モンゴルのゴビ・アルタイ県とバヤントーロイ（Bayantooroi）村における世界銀行の「遠隔地のための再生可能エネルギー」プロジェクトの一環として、日本企業の京セラが2つの世界最大の独立系統太陽光発電システムを設置した（305.1 kW）。1999年以来、「太陽光ゲル10万戸」プログラムが国の郊外区域で成功裏に行われ、50万人の遊牧民に電気を供給してきた（World Bank, 2013）。2009年からは、太陽光を集めた光電池と風力の発電基地（予定能力2600 TWh/年）による再生可能エネルギー生産及び北東アジア各国（中国、日本、韓国）への直流高電圧グリッドを通じた電力輸送を目指すゴビテック・イニシアチブが提案された。モンゴルでは水力発電も見られるが、そのいくつかは環境的に高いリスクがある（エギン川（Eggin Gol）、シュルン（Shuren）、バイカル湖への流域の一部を成すセレンゲ川（Selenge River）のプロジェクト、UNESCOサイトより）。

環境、健康、雇用、性別の共通利益

大量のCO₂の他にも、伝統的な石炭の燃焼は煤煙、灰、酸性雨、スラッジ、水銀、放射性化合物、発がん性物質、その他による地方の環境汚染を導いている。自動車によるディーゼルオイルの利用は、人々が呼吸する大気の下層における微細な粒子状浮遊物、つまりPM10やPM2.5の濃度を上昇させている（これらの化合物は肺胞を通じて血流に侵入することができるため、人間の健康に極めて有害である）。天然ガス（しばしば「もっともクリーンな」エネルギー資源と考えられている）の燃焼でさえ、環境と人間の健康に影響を及ぼす（肺病、喘息、気管支炎、発がん作用、早期死亡）大量の窒素酸化物（NO_x）の排出を導く。化石燃料の燃焼から再生可能エネルギー資源への転換は、多くの場合、地方の環境の質の大きな改善と住民の健康リスクの低減を導く（Danilov-Danilian, 2003）。

北京の自然資源防衛協議会（NRDC）によれば、石炭燃焼からの大気汚染は2012年に70万4000人の早すぎる死亡の原因となった。PM2.5の排出は肺病、がん、虚血性の心臓疾病や障害を導く最も危険なものとみなされている。中国における石炭の採掘、輸送、燃焼を含む石炭の全体的な利用による損害は、GDPの3.5%程度と見積もられる。中国における1メトリックトンの石炭の生産と消費は72.62ドルの社会・経済・環境コストにつながる一方、石炭の市場価格はトン当たり40～50ドルである（Safonov et al., 2016; IEA, 2016）。多くの理由から、炭素フリー技術は、中国における地方の大気の質を改善するための鍵となる政策手段として考えられている²⁰。

再生可能エネルギー部門は、北東アジア各国の労働市場に大きな影響を及ぼしている。中国は2015年、352万3000件の雇用で再生可能エネルギーにおける世界の雇用をリードしている。

20 2050年までに炭素排出量を80～95%まで削減することによるEUにおける環境面・健康面での利益は、2050年までの380億ユーロに相当する健康増進利益と、汚染規制費用の年間500億ユーロの節約に匹敵する。

太陽光発電の雇用主が圧倒的で、製造と設置両方で170万件の雇用があり、風力発電も約55万件の雇用で牽引している。日本は2014年、再生可能エネルギー部門で38万8000件の雇用があり、太陽光発電部門が37万7100件と大多数を占めている。韓国では2014年、太陽光発電製造で2800件の雇用を提供した（IRENA, 2016）。

低炭素発展の性的状況についても検討されており、UNFCCCの会合・会議の議題にしばしば取り上げられている。低炭素発展戦略が次の3つの利益、すなわち持続的経済成長の保証、排出量の制限、社会的及び開発上の必要性の実現を含むべきであるという議論が展開されている。加えて、科学技術だけではなく、生産・消費パターンの社会的な転換や変化を取り巻く性的に微妙な問題にも特別な配慮が払われるべきであろう。この点で、より信頼性が高く「クリーンな」エネルギーは性の平等、家庭生活の水準の向上（女性はたいてい家庭内の子供や病人、高齢者を世話する重荷を負う）、雇用における女性差別の廃止、高度教育への動機づけなどに肯定的なインパクトを持つ（まだ保証されていないが）ことができる²¹。

炭素価格

EU、オーストラリア、カザフスタン、韓国、東京首都圏、アメリカ北東部（地域温室効果ガス・イニシアチブ（RGGI）9州）、カリフォルニアとケベック、中国7省はすでに排出取引スキームを確立している。その他多くが近い将来の内に続こうとしている。中国の国家排出取引スキームが2017年に発効し、2020年までにその数はウクライナ、トルコ、ブラジル、チリ、メキシコ、ベトナムなどおよそ30カ国・地域となるだろう（ICAP, 2015）。

ロシアは、炭素基準コンセプトの2018年採択の準備を進めながら、炭素を価格付けする方法（キャップ・アンド・トレード、プロジェクトベース・メカニズムなど）を検討している。炭素税の試みがイギリス、オーストラリアなどさまざまな国でなされている。ロシアでは、ルサル社（金属生産を牽引）が2017年までに少なくともCO₂換算トン（tCO₂e）当たり15ドルの世界的な炭素税の導入を提案した（Deripaska, 2016）。

現在の炭素価格はさまざまで、EUでは4.5～5.9ユーロ/tCO₂e、中国では3.5～4.5ドル/tCO₂e、カリフォルニアとケベックでは12～13ドル/tCO₂e、東京では100ドル/tCO₂e以上である。フランスは2017年1月、国内及びEU関連の低炭素技術の底上げを刺激するため、炭素受入の下限価格を30ユーロ/tCO₂eとすることを発表した（Carbon Pulse, 2016）。

もし炭素価格が世界的に30ユーロ/tCO₂eに達すれば、エネルギーやその他の市場におけるゲームのルールを変えることになるだろう。ゼロ炭素技術が補助金などなくても強力な競争力となり、市場を支配することになるだろう。それは、特に北東アジア地域において、国、地域、産業の国際的な競争力を必然的に反映することになるだろう。

21 ドイツ国際気候イニシアチブ（IKI）は低炭素発展の性的問題に関する特別なポータルサイトを立ち上げた。
<http://www.genderccc.net/>

国際的競争力と融資の流れ

高騰する炭素排出削減コストに関係する国際的な競争力に対する不安は、企業に圧力をかけ、その生産をよりコストの安い、あるいは炭素基準の低い国外の管轄地へ移転するように強いることになるだろう。脱炭素化と低炭素経済に移行するための巨額な事前資本投入に関係する投資リスクは、そのような投資を望まない消費者や民間企業が最も経験することになるだろう。炭素集約型資産やプロジェクトから部門売却するプロセスがすでに散見されている。国際金融機関は、中国政府が行ったと同様に、すべての新規石炭プロジェクトの実施を認めていない。新しい石炭火力発電所と石炭ベースの化学設備の建設は2018年まで認められず、エネルギーミックスにおける石炭の割合を64%から58%に切り下げることになるだろう。中国政府はまた、5億トンの石炭の生産を2020年までに段階的に廃止することを計画している。

民間ビジネスの事例も数多い。2014年、フランスの巨大エネルギー会社トタルは、高コスト・高炭素および環境的影響のリスクにより、110億ドルのアルバータ・オイルサンド鉱山を棚上げすることを発表した。アメリカ最大の石炭会社ピーボディ・エナジーは、2016年に破産した。アンチ京都のトップ法人人口ピーストであるエクソン・モービルでさえ、炭素税を自らの戦略的プランに含め、いくつかの地域におけるその代替コストを80ドル/tCO₂eとしている (Cohen, 2015)。

5.2. 脱炭素化の努力を促進する共同作用

脱炭素化の可能性は各国それぞれの努力で実現し得るものではあるが、共同プロジェクトには地域の低炭素経済への移行に大きく貢献しうる大きなチャンスがある。

これらは炭素フリーエネルギー資源・技術に関係するエネルギー、輸送、インフラ、その他部門のメガプロジェクトを含む。例えば、ゴビテック・プロジェクトやアジアスーパーグリッド・プロジェクトは、モンゴルのゴビ砂漠で発電容量100 GW以上の風力及び太陽光設備を受け入れ、中国、韓国、日本に年間5800 TWh以上の「グリーン」電力を輸出することができる。グリーンエネルギープロジェクトにおけるロシアの可能性もまた、100～120 GWのオホーツク海における潮力発電から、極東シベリアにおけるバイオエネルギー、風力、地熱、水力まで、非常に大きい。

「エネルギーサークル」プロジェクトの下にあるロシアの電力網と、アジアスーパーグリッドとの連結が、2016年9月2～3日にロシア・ウラジオストクで行われた「東方経済フォーラム」で議論された。ガスプロム、ロスネフチ、ルスハイドロ、BP、トタル、その他各社を含む「ビッグエネルギー」協力は、このイニシアチブを中期的視点から真剣に検討している。

輸送部門の発展政策もまた、もし適切に計画されれば、地方経済の脱炭素化において極めて重要な役割を演じるだろう。ロシア北極圏の北極海ルート、中国やロシアを直接結ぶモンゴルの西部地域輸送回廊、近隣国の輸送システムを統合する「シルクロード・イニシアチブ」などのプロジェクトは、予知できる未来の地域交通・物流を加速しうるだろう。それらはまた、厳

格な低炭素基準が適用される限り、輸送の炭素排出量を削減することになるだろう。

地域経済の構造変化が低炭素集約部門に向かえば、劇的な資金投入も行なわれうるだろう。国境地帯を含む観光促進計画はすべての北東アジアの国々で魅力的である。例えば、モンゴル観光発展戦略は2020年までに年間100万人を目指している（2015年で40万人）。ロシアは極東シベリアにおける野心的な観光発展計画を有し、中国、日本、韓国も同様である。

当然、こうしたエネルギーや輸送インフラを含むすべてのメガプロジェクトのための大きな挑戦は、実施費用の過小見積もりや、関連する需要・利用・行動に関する不正確な評価の下で行なわれることになる。ここ70年間、過小見積もりと費用超過がすべての国のほとんどのメガプロジェクトを特徴づけていたことが認められるが、そこに「教訓」がある。いくつかのケースで、費用はやや過小見積もりされ、例えば、パナマ運河では200%の費用超過があり、他方巨額なものでは、スエズ運河で1900%もの費用超過があった。専門家が「費用の過小見積もりや超過はミスでは説明できず、プロジェクトを始めようするための戦略的な不当説明、いわば嘘であるということでもっともよく説明されるだろう」（Flyvbjerg et al., 2003）と見ることに賛同しないわけにはいかない。

こうしたメガプロジェクトの他にも、提供された再生可能エネルギーの利用に関係し、消費者の行動や生産の基準を変化させるなどの、より小規模でも数多くの炭素排出削減の機会がある。植林プロジェクトに加え、先進の森林管理と土地利用の実践は大気からのCO₂の隔離を推進し、かなり大規模な排出防止を気候変動緩和行動として行うことができる。

脱炭素化の道のりに沿った各国及び世界的な国際開発プロジェクトの政策と努力の調和が可能になっても、強固な政治的意思と包括的な戦略なしでは、北東アジア地域が「2℃目標を十分に下回る」道筋に乗ることは難しいであろう。

北東アジア各国のエネルギー及びその他部門における脱炭素化のための協力機会は多い。一方では、再生可能エネルギーにおいて世界をリードする技術企業が日本、中国、韓国にあり、太陽光、風力、水力発電、潮力発電、バイオエネルギー、及びエネルギー効率やスマートエネルギーシステムなどのハイテク製品を輸出して市場拡大を狙っている。他方では、ロシアやモンゴルのような再生可能エネルギー資源に豊かな国は、グリーンエネルギー供給増加のための堅固な基礎を隣国に提供することができる。

この方向で急速に進むためのボトルネックの一つは、グリーンエネルギーインフラの欠如によるものである。数十年以内に現れる脱炭素化世界では「座礁資産」と見なされるような化石燃料供給インフラを推進する努力が、ここ数年、特にロシアにおいて非常に積極的である（ガスパイプライン、港湾の石炭設備など）。北東アジアを巡って太陽光、風力、その他発電設備を結び付ける超効率的統合電力ネットワークを創造しようとする北東アジア地域の取り組みは、実現可能で非常に望ましいものであると考えられている。2016年、中国国家電網公司是、2050年までに世界的な電力網を創立するため50兆ドルの投資を提案した。それは北東アジアからスタートし、ゴビテックとアジアスーパーグリッド・イニシアチブを基礎とするものになるだろう（Von Hippel, 2015）。

このように素晴らしいスーパーグリッドや、中国やその他の国々による再生可能エネルギー

における投資拡大が続く中で、明らかに北東アジア地域の可能性は膨らみ、脱炭素化の目標は今世紀後半の早い時期までに到達されることになるだろう。投資協力のプロセスはすでにモンゴルで始まっている。シャープ、重光商事、モンゴル太陽光発電インターナショナルLLCは、10 MWの容量を持つ29.1万平方メートルの発電所の建設を2016年に完成させた。韓国電力公社（KEPCO）は、モンゴルで50 MWの太陽光発電所を設立するための資産管理同意書に署名した。ロシアのユーリ・トルトネフ副首相は、東シベリアにカーボンフリーゾーンを創設するためのイニシアチブを発表した。それはロシア東部の1000万平方キロメートル以上の広大な国土に及び経済の脱炭素化に向けた最初の提案であり、低炭素技術プロジェクトへの投資誘致を目指すものである。

非エネルギー部門においても、炭素排出を削減する製品やサービスが現れつつある。例えば、ロシアの「ロスナノ」社によるナノチューブが一次素材（プラスチック、ゴム、金属、セメントなどのような）に加えられ、その技術的未来を促進しようとしている。ナノチューブを使った製品にはすでに2万件もの特許があるが、それらはロスナノが発明するまでは生産コストが高く、供給が限られていた。一次素材は、その生産、輸送、利用に関連して世界のGHG排出量の28%を負っており、脱炭素化戦略にとって、エネルギー産業部門に加えてこの部門をカバーすることは重要である（CENef, 2015）。

もし北東アジア地域が2℃目標に沿ったカーボンバジェット（炭素排出量の上限）の範囲内にとどまるならば、2050年までにほとんどの化石燃料は再生可能エネルギーまたはその他のゼロ・エミッションのものに置き換えられる必要がある。北東アジアにおける再生可能エネルギーの可能性は、すべてのエネルギー需要と地域経済の脱炭素化を満たすに十分である。しかし、この現存する可能性や「グリーン」エネルギーインフラを創設するメガプロジェクトなどの共同プロジェクトを実現するように、もし北東アジア各国がこの地域の協力を進めるならば、脱炭素化のプロセスはより早く、より効果的なものとなるだろう。

5.3. これから進むべき道

これまでの研究により、北東アジア地域は、地域にある資源・ノウハウ・投資を活用しながら、大規模な脱炭素化の道筋を進み、カーボン・ニュートラルな経済を発展させるための互いの努力を支援・促進し、産業技術ベースのインフラ、エネルギー・輸送システムを徐々にグレードアップしていくには、非常に好位置にあると結論付けることができる。

当然、北東アジアは世界の他の地域と切り離しては考えられず、逆に言えば、北米、ヨーロッパ、その他の地域で進行中のプロセスを考慮しなければならない。脱炭素化目標と密接に関連するその暗示的なプロセスの一つは、化石燃料プロジェクト・資産から部門売却する取引である。アメリカ、ドイツ、ノルウェー、オーストラリア、その他多くの国々の投資家たちが化石燃料会社への投資を中止する政策を採用している。しかし、北東アジアにおいては、どの国内投資家もまだこのようなアプローチを表明していないのだ！

それは、気候変動が北東アジア各国にとって真に優先的なものではないということの意味して（政治的に支持され、宣言されて）いるのだろうか。彼らは依然として、パリ協定の約束を無視した化石燃料に関心を持っているのだろうか。あるいは、これは部門売却プロセスに乗ろうとする単にゆっくりとした途中経過なのだろうか。

2016年の夏、私たちは日本で数多くの専門家会合や議論を行い、大規模投資家には気候変動と脱炭素化の機会にわずかな認識しかないことが認められた。例えば、日本の代表的な投資家は、炭素基準の強化、直接的・間節的な炭素排出量の増加、遠くない未来に行き詰まるであろう資産への投資に関するリスク評価などをせずに、ロシア、アゼルバイジャン、カザフスタン、その他の国々の石油・ガスプロジェクトの契約を拡大しようと考えている。彼らの一部は、メタンが国際条約の計算・基準に含まれる強力な温室効果ガスであることさえ知らない。

私たちはまた、京都議定書、パリ協定、あるいはその他の枠組み（G20、G8やG7）で決められた国の約束が、すべての北東アジア各国の経済関係省庁の政策担当者の間ではっきりとは表現されていないことを目にしていて。例えば日本では、2050年までに1990年レベルより80%下回るまで温室効果ガスを削減するという国の約束（第4次環境基本計画で採択）を理解したビジネスを見かけることがほとんどない。

近年、ロシアの特にシベリア東部・極東における化石燃料の採掘、輸送、燃焼の拡大もまた、「気候上の」目標と矛盾している。それは石炭、ガス、石油生産者の強力なロビー交渉力によって十分に説明される。

この点で興味深い例は、北東アジアにおけるエネルギー対話、特にロシアのエネルギー巨大企業（ガスプロム、ロスネフチ、ルスハイドロ、その他）と彼らの北東アジアにおけるパートナーにより積極的に支持されている「エネルギーサークル」イニシアチブである（これはしばしば「アジアスーパーグリッド」プロジェクトとともに議論されている）。北東アジア各国のエネルギーシステムの連結は、（例えばロシアやモンゴルの）石炭・ガス火力発電所による電力供給及び日本、韓国、中国への輸出を増やし、石炭とガスの利用拡大を推進する一つの機会として、利害関係者によって検討されている。もしもこうしたアプローチが実現すれば、化石燃料の利用がますます増加する状況を少なくとも40～50年は維持することになるだろう。関連する炭素排出量は、厳格なGHGの報告や基準なしにモンゴルやロシアの国内排出量として計算され、こうして大規模な炭素放出を生んでいくことになる。このような放出の規模は2050年までに数百億CO₂換算トンに達し、北東アジア各国の緩和努力を激しく損なうことになるだろう。

大規模な脱炭素化の戦略は、明らかに異なるアプローチが求められる。北東アジアのパートナー国は共同エネルギーシステムへの一次グリーンエネルギーの供給に同意することができ、「グリーンエネルギーサークル」が地域を超えて普及していくカーボンニュートラル技術の大規模な触媒としての役割を果たすことになるだろう。モンゴル、ロシア、中国、その他各国の再生可能エネルギー資源（風力、太陽光、潮力、バイオ燃料など）は、地方のコミュニティ、環境、気候の利益を探索・開発するための新たな推進力を受け取ることになるだろう。加えてそれは、韓国、日本、中国ですでに開発されている技術に対する需要のスケールアップを導く

とともに、化石燃料のロビーストによって「別の優先順位」が進められ投資流入が不足しているロシアの発明やノウハウに対する需要のスケールアップを導くことになるだろう。

炭素価格付けのメカニズムは、高炭素排出を伴うビジネス活動にまったく新たな条件を導き出している。中国は2017年に国家炭素市場を創設し、韓国と日本は既にキャップ・アンド・トレードやプロジェクトベースの排出量取引スキームを試みている。ロシアは京都議定書の弾力的なメカニズムの利用を試み、2008年から2012年の間に10億ドル以上を得たが、このメカニズムを当分の間凍結した。しかし、ロシアのビジネス界は「炭素」投資を誘致する機会や、国際市場で高まる炭素関連リスクの機会をよく分かっている。今後5～10年、「世界平均」の炭素価格がCO₂換算トン当たり15～30ドルに設定されるケースでは、ほとんどのプロジェクトやビジネスの商業的実現可能性は劇的に変化するだろう。しかし、北東アジア各国で現在、誰がこのリスクを心に描いているだろうか。

この点で、北東アジアのいくつかの国によって行われる国際協力メカニズムは、拡大する炭素価格のリスクを防ぐ助けとなりうる。例えば、日本の理化学研究所（JCM）は、自国の技術、機械、製品、サービスをパートナー国で促進し、その国での生産・輸出を奨励する副作用として、その共同プロジェクトで獲得した炭素排出枠の価格を数年間固定することができることになるだろう。韓国には途上国（モンゴルを含む）におけるプロジェクトの実施を助け、投資による炭素効果を測定できるようにする一連の国際的な取り組みがある。中国は、緩和インパクトが大きく、炭素効果を公平な割合で獲得できるプロジェクト・活動を支援する南南協力イニシアチブを始めた。ロシアは、近隣諸国の気候対応・緩和行動を支援する意思を発表したが、まだ明確なルール、メカニズムやパートナーを示していない。

炭素との関連がいまだにはっきりしない重要な協力方向が、北東アジアにおける輸送インフラの開発である。これまで述べてきたように、非常に有望なイニシアチブが、地域や国の鉄道、道路、航路、空路による中国、モンゴル、ロシア、韓国、日本間の輸送網の連結を目指している。しかし、これらのプロジェクトは炭素排出量の削減、あるいは気候システムへの負荷の増加を大きな規模で導くのだろうか。私たちはこうしたインパクトを計算できていないし、この問題に対する政策決定の姿勢を評価できていない。

緩和と対応の両方の重要性を持ついくつかの基準がある。例えば、モンゴル、中国、ロシア、日本における植林や森林再生プロジェクトはかなりの炭素吸収利益をもたらすことができると同時に、生物多様性の保護、流域保全、エコシステムサービス、土壌侵食や砂漠化の防止などに極めて重要な役割を果たしている。これに関する実証的な例が、モンゴルにおける「グリーンベルト」プログラムである。（ゴビ砂漠に近い南部及び西部の急速な砂漠化を防止するため、劣化した土地の8万ヘクタール以上に植林し、多くの環境的、社会的、経済的利益とともに、年間およそ100万CO₂トンの吸収ができることになるだろう。しかし、国はこのプログラムに投資する自らの資金を持っていない。JCMの炭素投資や同様のプログラムがその経済的実現可能性とこのイニシアチブの技術的な実施に作用しえた。こうした大規模プロジェクトの受益者は炭素クレジット（排出枠）を得るだけでなく、自らの環境を改善することができるようになる。何故か。拡張するゴビ砂漠からの「黄砂」が国境を越えて韓国や日本に移動し、すでにそ

これらの国の人々の健康に影響しているからである。モンゴルの新たな森林はすべてにとって完璧な解決策である。

中国で進行中の植林プログラムもまた、国の緩和政策にとって有意義なアプローチであると考えられ、国のINDCに組み込まれている。2014年までに、植林された区域面積と森林蓄積量はそれぞれ2160万ヘクタール、22億立方メートルに上る（2005年レベルに対して）。中国は植林を続け、2030年までに森林蓄積量を45億立方メートルまで増やす計画だ（2005年レベルに対して）。

ロシアにおける植林と森林再生プロジェクトもまた非常に重要である。例えば、アルタイ地方の草原耕作地（Kulunda Steppe）は風と水の浸食に悩まされており、森林土壌の防御ラインが後退・喪失し、肥沃な地層の損失を導き、今後数十年にわたって農業の持続可能性に影響する。アルタイ地方の森林ライン近代化により資本化された炭素効果は、プロジェクトの投資・運転費用を完全に補償し、このプロジェクトを何十年も持続させることになるだろう。

日本の植林と森林管理プロジェクトもまた気候上及び地方の重要な環境上の役割を果たし、新潟県及び有名な佐渡島のケースでは、新たな森林創出における炭素投資が、希少な鳥類で新潟のシンボルである朱鷺（*Nipponia nippon*）と気候問題の両方を守る助けとなりうるだろう。

北東アジア地域全体にとって、またそれぞれの国にとって、脱炭素化の道筋に関するさらに多くの問題が提起され、分析されている。それは行政、経済界、NGO、家庭などのすべてにとって新しく、難しい問題である。しかし、私たちはいま、こうした問題を問い始めなければならない。2014年9月、潘基文（パン・ギムン）国連事務総長（当時）はニューヨークでの「民衆の気候マーチ」の開始に当たって、「惑星（プラネット）Bがないように、行動にプランBはない」と述べた。北東アジア各国は気候変動との戦いで有意義な投入を行うことができるし、自らの行動に立ち遅れている国々に対してリーダーシップを示すことができるのである。

参考文献

- Arabella Advisors (2015): *Measuring the Growth of the Global Fossil Fuel Divestment and Clean Energy Investment Movement*
- BIELLO, David (2015): CO₂ Levels for February Eclipsed Prehistoric Highs, *Scientific American*, 5 March 2015
- BRLETICH, Samantha (2015): *Mongolia Struggles to Develop Tavan Tolgoi Coal Mine*, Mining.com electronic journal, 21 September 2015
- Carbon Pulse (2016): *France to Impose Carbon Price Floor on Utilities from January 2017*
- CENEf (2015): *Analysis of the Impacts of Modification (Using Carbon Nanotubes) of Basic Materials on the Reduction of Global Anthropogenic GHG Emissions*, scientific report [in Russian]
- China (2015): *Enhanced Actions on Climate Change: China's Intended Nationally Determined Contribution*
- CIA (2016): *World Fact Book: China*
- CNREC (2012): *Key Information at a Glance: China 12th Five-Year Guideline for Renewable Energy Development (2011–2015)*
- COHEN, Ken (2015): ExxonMobil and the Carbon Tax, *Energy Factor*, 12 February 2015
- DANILOV-DANILIAN et al. (2003): *Climate Change: The View from Russia*, TEIS, Moscow
- DEGTYARIEV, K. (2013): The Heat of Earth, "Science and Life" [*Nauka i zhizn*] journal, Issue 9
- DERIPASKA, O. (2016): How to Put Paris Talks into Climate Action, *The Australian*
- DPRK (2012): *Second National Communication on Climate Change*, National Coordinating Committee for the Environment, Pyongyang, p. 161
- EnerData (2016): *China Confirms Ban on New Coal-Fired Power Plant Construction until 2018*, 12 June 2016
- ERC (2015): *Statistical Indicators of Energy 2015*, Energy Regulatory Commission of Mongolia [in Mongolian]
- ESI SB RAS (2015): Energy of Russia in the 21st Century: Innovative development and management, *Proceedings of the Conference*, 1–3 September 2015, Irkutsk, p. 591 [in Russian]
- FLYVBJERG, B., BRUZELIUS, N., and ROTHENGATTER, W. (2003): *Megaprojects and Risk: An anatomy of ambition*, Cambridge University Press
- GENI (2012): *How is 100% Renewable Energy Possible in Japan by 2020?*
- GGBP (2014): *Green Growth Best Practice: Key findings*
- Goldman Sachs (2009): *A United Korea? Reassessing North Korea Risks (Part I)*, Global

Economics Paper No. 188

- GULKOV, A.N. (2016): *Prospects of Producing and Usage of Fuel from Wood Waste in the Far East of Russia*, Eighth Japan–Russia Energy and Environment Dialogue in Niigata, ERINA, 2016
- ICAP (2015): *Emissions Trading Worldwide*, Status Report 2015
- IEA (2014): *Energy Technology Perspectives 2014: Harnessing Electricity's Potential*
- IEA (2015a): *Energy Technology Perspectives 2015: Mobilising Innovation to Accelerate Climate Action*
- IEA (2015b): *CO₂ Highlights*
- IEA (2016a): *Statistics for North Korea: Energy balances in 2013*
- IEA (2016b): *Statistics for North Korea: Renewables and waste in 2013*
- IEA (2016c): *Energy and Air Pollution*, Special Report, *World Energy Outlook*
- IEA/OECD (2003): *Renewables in Russia: from Opportunity to Reality*
- IEA/OECD (2015): *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*, Paris
- IFES (2016): *North Korean Economy Watch*, Institute for Far Eastern Studies
- IKEGAMI, M. (2016): *Mongolia's Dzud Disaster*, *New Internationalist Magazine*, 10 May 2016
- IPCC (2014a): *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, United States
- IPCC (2014b): *Fifth Assessment Report*
- IRENA (2014a): *Ocean Energy Technology Brief 3*
- IRENA (2014b): *Renewable Energy Prospects: China, Remap Renewable Energy Roadmap*
- IRENA (2015): *Renewables 2015 Global Status Report*
- IRENA (2016): *Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2016*
- Japan INDC (2015): *Submission of Japan's Intended Nationally Determined Contribution (INDC) to the UNFCCC*
- JASE-W (2015): *Japanese Smart Energy Products & Technologies*
- KAINUMA, M. et al. (2015): *Pathways to Deep Decarbonization in Japan*, Paris, SDSN–IDDRI
- KAINUMA, M., and AKASHI, O. (2016): *Energy Efficiency and Conservation Strategies in Japan*, *China's Energy Efficiency and Conservation: Household behavior, legislation, regional analysis and impacts*, Bin SU and Elspeth THOMSON (eds.), Springer briefs on environment, security, development and peace, 31
- Maritime News of Russia (2013): *Sea Ports*, Issue 3
- MASTEPANOV, A.M. (2015): *Energy Cooperation in New Geopolitical Conditions: Some*

- assessments and perspectives, *Energy and Geopolitics Journal*, 13, Issue 1
- METI (2014): *The Fourth Strategic Energy Plan*
- Ministry of the Environment (MOE) of Japan (2003): *Research Potential of Renewable Energy*
- Ministry of the Environment (MOE) of Japan (2012): *Climate Change and Its Impacts in Japan, Consolidated Report on Observations, Projections and Impact Assessment of Climate Change*, Ministry of the Environment, Japan, FY2012
- MNET (2010): *Mongolia Second National Communication to UNFCCC*, Ministry of Nature, Environment and Tourism of Mongolia/UNEP/GEF
- NBC News (2016): *China Unveils Proposal for \$50 Trillion Global Electricity Network*, 31 March 2016
- Oxford Business Group (2014): *Mongolia: The Report*
- PwC (2015): *The World in 2050: Will the shift in global economic power continue?*
- REVICH, B. (2010): *Heat Waves and Population Mortality*,
<http://polit.ru/article/2010/11/15/demoscope439/>, retrieved 1 September 2016
- ROK (2015): *Submission of Intended Nationally Determined Contribution to UNFCCC*
- Roshydromet (2014): *Second Assessment Report on Climate Change in the Russian Federation*
- S-8 (2014): *Climate Change Impacts on Japan: Comprehensive impact assessment and adaptation measures based on new scenarios*, 2014 Report.
- SAFONOV, G. et al. (2016): *Low Carbon Development Strategy for Russia, Opportunities and Benefits of Substitution of Fossil Fuels by "Green" Energy Sources*, TEIS, Moscow, p. 48
- SAFONOV, G., and BAGIROV, A. (2010): *Energy Security and Climate Change: Global Challenges for Russia*, TEIS/Moscow State University, Moscow
- SAGGU, A., ANUKOONWATTAKA, W. (2015): *China's "New Normal": Challenges Ahead for Asia-Pacific Trade* (9 July 2015), *United Nations ESCAP Trade Insights*, Issue No. 11
- SCHMIDT, Stephan, and WATANABE, Kenji (2010): *Japan's Next Generation of Renewable Energy, Science & Technology: Energy, Innovation, Asia*
- SCHWAB, Klaus (2016): *The Fourth Industrial Revolution: What it means, how to respond*, Founder and Executive Chairman, World Economic Forum
- SDSN-IDDRI (2014): *Pathways to Deep Decarbonization*
- SDSN-IDDRI (2015): *Pathways to Deep Decarbonization*, synthesis report
- SHUTA, M. et al. (2014): *Gobitec and Asian Super Grid for Renewable Energies in Northeast Asia*, Energy Charter, ISBN 978-905948-143-5, January 2014
- Stern Review (2006): *The Economics of Climate Change*
-

- TENG, F. et al. (2015): *Pathways to Deep Decarbonization in China*, Paris, SDSN-IDDRI
- UN (2015): *World Population Prospects: Key findings and advance tables 2015*
Revision
- UNEP (2016): *Global Trends in Renewable Energy Investment*
- UNGC–UNEP–UNFCCC–WRI (2015): *A Caring for Climate Report*
- USACHEV, A. (2015): Association of Solar Energy Enterprises of Russia, interview on the association's website, 24 March 2015
- VON HIPPEL, David (2015): *What Could an "Asian Super-grid" Mean for Northeast Asia?*, NAPSNet Policy Forum, 13 April 2015
- World Bank (2013): *Mongolia: Portable Solar Power for Nomadic Herders*
- World Bank (2016): Country overview database, <http://data.worldbank.org/>
- World Bank/Australian Aid (2013): *Green Investment Climate Country Profile: Republic of Korea*

ERINA booklet vol.7

気候変動の緩和策－北東アジアからのブレークスルー

著 者 ゲオルギー・サフォーノフ（国立高等経済学院環境・天然資源経済研究センター長）
エンクバヤル・シャグダル（ERINA調査研究部主任研究員）

翻 訳 中村俊彦（ERINA企画・広報部長）

発行日 2017年3月30日

発 行 公益財団法人環日本海経済研究所（ERINA）企画・広報部
〒950-0078 新潟市中央区万代島5番1号 万代島ビル13階
Tel: 025-290-5545 Fax: 025-249-5775
E-mail: webmaster@erina.or.jp
URL: <http://www.erina.or.jp>

禁無断転載

©ERINA

