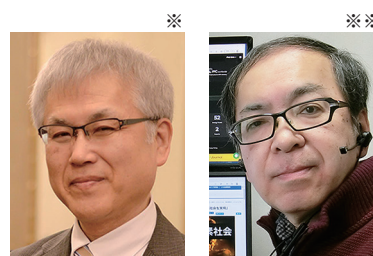


【調査研究報告】

カーボンニュートラルのための地政学 ～エネルギー・セキュリティの国際比較と日本への提言～

※
小野崎正樹（研究顧問）

※※
橋崎 克雄（プロジェクト試験研究部
部長）



1. はじめに

カーボンニュートラルに向けて世界が急速に方向転換してきている。また、ロシアのウクライナ侵攻により、エネルギー・セキュリティ（エネルギー安全保障（安定供給））に対する注目度が高まっている。

地政学は、従来、領土拡張から植民地政策、さらには、化石資源確保の文脈で語られることが多かったが、カーボンニュートラルとの関連となると、大量の再生可能エネルギー（再エネ）をどこから、どれだけ確保するかということに視点を変える必要がある。太陽光が豊富な地域、風力が安定して得られる地域、火山帯で地熱を得られる地域は、今までの石炭、石油、天然ガスの産地にとって代わる。地産地消により、エネルギー・セキュリティが増すとの意見もあるが、日本の場合、それだけでは解決できない。

本稿では、まず、地政学における国家の特性について説明する。続いて、資源状況を検討した上、2050年の「実質カーボンニュートラル」を目指すヨーロッパの国々と米国について、日本との比較で、長期的なエネルギー・セキュリティ度を評価する。その後、セキュリティに影響する主な因子を個別に、または組み合わせて評価することで、エネルギー・セキュリティの度合いを数値化する。さらに、日本が長期にわたってエネルギー・セキュリティを高める方法を検討し、最後に、日本の針路について提言する。

2. 地政学とは

地政学とは、国の地理的な条件を基に、政治的・社会的・軍事的な影響を研究する学問である。地政学は、近年、関心を集め、多くの解説書が出版されている^{(1)～(5)}。米国の海軍大学校校長アルフレッド・セイヤー・マハン（Alfred Thayer Mahan）は、1890年に『海上権力史論』⁽¹⁾で、シーパワー（海洋勢力）とランドパワー（大陸勢力）の概念を提唱した。さらに、英国の地理学者で政治家のサー・ハルフォード・ジョン・マッキンダー（Sir Halford John Mackinder）は、1919年に『デモクラシーの理想と現実』⁽²⁾で大陸の中枢を成すハートランドとその周辺に位置するリムランドの概念を提唱した。ハートランド、リムランド、ランドパワー、シーパワーの関係は、図1⁽⁵⁾に示す通りである。ハートランドは、ユーラシア大陸の心臓部である。その周縁に位置するリムランドでは、ウクライナ侵攻に見られるように、大規模な国際紛争が発生することが多い。

シーパワーの国に該当するのは、海洋貿易で栄えた国々である、日本、英国、アジア諸国である。米国は、シーパワーとして発展し、西太平洋にまで勢力を拡大させてきた。シーパワーの国は、自国の利益を確保するために、かつては海軍力の増強を進めた。加えて、他国と連携して海洋貿易を進めることで発展してきた。マハンには、シーパワーには海洋を支配する軍事力だけではなく、平和的な通商や

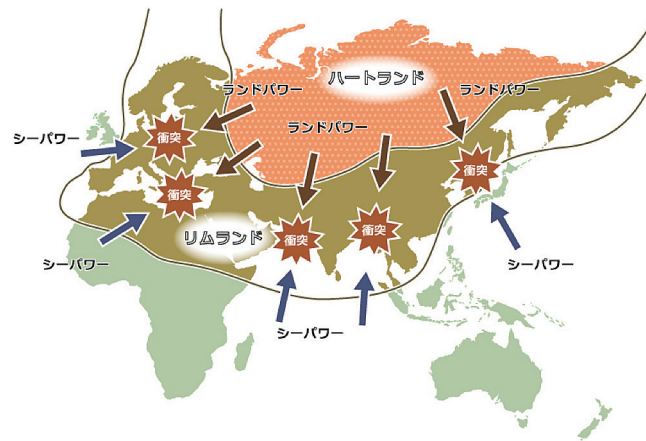


図1 ハートランドとリムランドの関係⁽⁵⁾

海運の力も含まれるとも述べている⁽¹⁾。シーパワーの国にとっては、現代にあっても、通商上・戦略上、重要な価値を有する海上交通路（シーレーン）の確保が重要な課題である。

一方、ハートランドには、広大な土地を擁し、その勢力を伸ばしてきたロシアや東欧、中国、中央アジアが該当する。ヨーロッパの中で領土紛争を繰り返してきたドイツやフランスはリムランドに位置するが、ドイツはランドパワーを誇ってきた。ランドパワーの国は、領土を広げ、エネルギーを確保することに専念するも、エネルギーの輸送に課題を抱えていたが、鉄道の発達とともにそれを克服し、さらに、今ではパイプラインも活用している。

マハン、マッキンダー両名の発想は、「大陸勢力（ランドパワー）がユーラシア大陸の枢要部分（ハートランド）を支配することに強い警戒感を示す」⁽⁴⁾もので、「英米のシーパワーの覇権を脅かしかねない」⁽⁴⁾ことを契機としている。両名の著書は、第一次世界大戦（1914～1918年）の前後に発表されたものであるが、そこで書かれた地理的条件は今も変わっていない。

植民地の時代を超え、化石燃料を各地から調達する時代となり、さらに、エネルギーとして従来の化石資源だけではなく、再エネを加えても、ランドパワーとシーパワーの位置づけは維持されよう。そして、同じような地理的条件であっても、2050年の実質カーボン

ニュートラルへ向かう中で、エネルギーの流れは大きく変わっていく可能性がある。

日本の隣りには、ロシアと中国というハートランドでありランドパワーでもある国々がある。また、リムランドである朝鮮半島にも接している。そのような中、海軍力を増強しているロシアは、将来、温暖化で北極海の氷が解けるとシーパワーにもなる。また、中国も海軍力を増強し、シーパワーとしての力を強めている。近年、中国は「海洋強国建設」を唱え、15世紀前半の鄭和艦隊に倣い東シナ海に進出している。それに対して、日本を始め、インド、米国、オーストラリアやアジアの中堅国との連携を基本とした「インド太平洋戦略」が注目されている⁽⁶⁾。これまでの歴史においては、ランドパワーとシーパワーが両立することはないと言われてきたこともあり、今後の勢力展開を憂慮するものである。

3. エネルギー・セキュリティに関する既往の研究

「国のエネルギー安全保障度は、個々の一次エネルギー源のエネルギー安全保障の程度を一次エネルギー総供給構成比により加重平均した値に、一次エネルギー源の分散による影響を乗じたもの」とされている⁽⁷⁾。

経済産業省は、エネルギーの安定供給に関する検討結果を、エネルギー白書などで発信

し続けている。「2010 年版エネルギー白書」⁽⁸⁾では、米国、カナダ、英国、ドイツ、フランス、中国、韓国と日本を、自給率、輸入先、チョークポイント（戦略的に重要な海上水路）、エネルギー源、停電時間、GDP 原単位、供給途絶対応の尺度で比較している。その中で、日本がエネルギー・セキュリティを高めるには、a) 自主開発権益を含む自主エネルギー比率の向上、b) わが国企業の権益確保に向けたリスクマネー供給支援の推進、c) チョークポイント低減と備蓄の整備、を挙げている。

2010 年版以降も、エネルギー白書では「主要国の安全保障の変化」の節を設け、最新のデータに基づき、変化を論じてきた。『エネルギー白書 2021』⁽¹⁰⁾では『エネルギー白書 2015』⁽⁹⁾も引用して、図2のように、日本の7個の定量指標の変化を示している。ここでは、「電力の安定供給能力」が電力システム改革などの影響で大きく変化している。

また、『エネルギー白書 2021』⁽¹⁰⁾では、

図1と同様の指標で各国を比較している。その一部として、エネルギー輸入先の多様化について図3に、エネルギー消費の GDP 原単位について図4に示す。これらに見られるように、国による違いが明確に示されている。日本は、図3に示すように、輸入先の多様化を図ってきており、欧米諸国と比べて遜色ないレベルに達している。また、エネルギー消費の GDP 原単位については、図4に示すように、十分に高いレベルにある。

さらに、2021 年からは、追加指標として、d) 蓄電能力と、e) 電力のサイバーセキュリティが加えられた。

また、2019 年には、（一財）日本エネルギー経済研究所が「各国エネルギー戦略の定量分析・災害時におけるエネルギーインフラ事業の在り方」⁽¹¹⁾を発行している。ここでは、米国、カナダ、英国、ドイツ、フランス、中国、韓国などを対象として、化石燃料の輸入先についてカントリーリスクの面から評価を行っている。

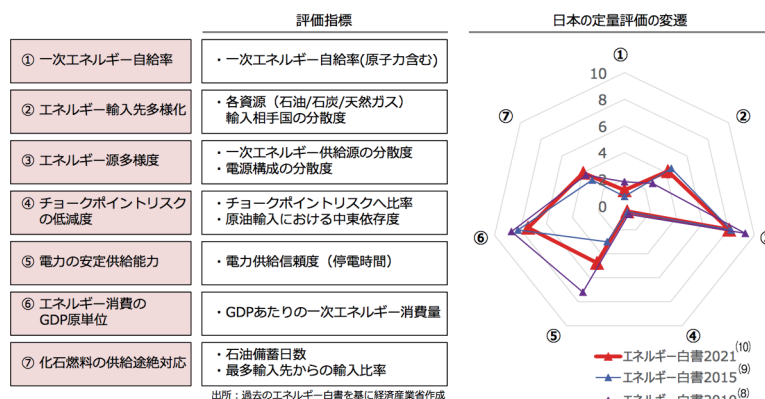


図2 日本のエネルギー・セキュリティ指標の変化⁽¹⁰⁾

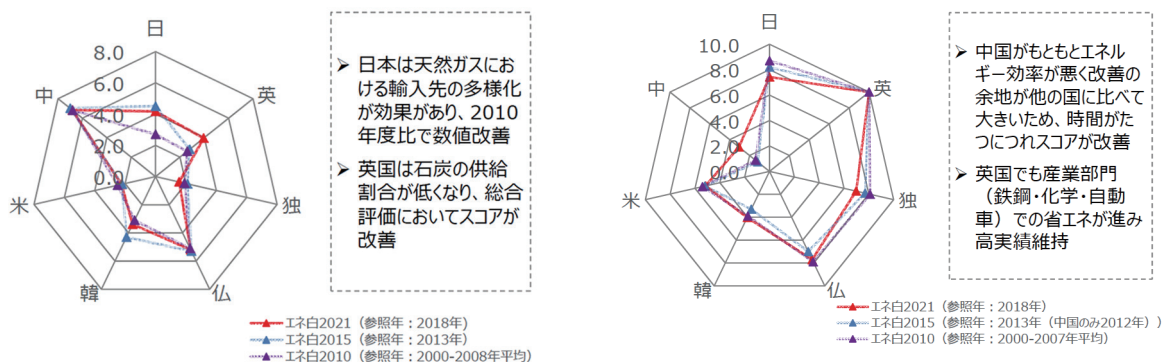


図3 エネルギー輸入先多様化の変化⁽¹⁰⁾

図4 エネルギー消費の GDP 原単位の変化⁽¹⁰⁾

カントリーリスクとは、投資する国・地域の政治、経済、社会情勢などの変化に起因するリスクのことである。日本は、多様化の面ではヨーロッパ諸国と大きくは変わらないものの、原油の輸入ではホルムズ海峡などのチョークポイントのリスクがあることが指摘されている。

4. 化石燃料資源

石炭、石油、天然ガスからなる化石燃料の埋蔵量と生産量を概説する。2050年のカーボンニュートラルに向けて、経済協力開発機構（OECD）加盟国では化石燃料の需要は大幅に減少する。しかし、世界では、石炭需要は大幅に減るものの、原油は半量程度に、天然ガスについては、現在より60%高まるとも言われている⁽¹²⁾。

そこで、原油と天然ガスに軸足を置き、BP統計⁽¹³⁾に基づき、年間生産量、埋蔵量、R/P（埋蔵量／生産量）を需要国と生産地域・国に分けて地域・国ごとに表1にまとめた。需要国には、日本、ドイツ、フランス、英国、米国を代表として挙げた。生産地域としては、オーストラリア、ヨーロッパ、北米、中南米、ロシア、アジア、アフリカに分けた。

中東は、原油の生産量が大きいだけでなく、天然ガスについても大きな埋蔵量を有していることがわかる。北米がそれに続く。南米は埋蔵量の割に生産量が少ない。天然ガスにつ

いては、ロシアが埋蔵量、生産量とも大きい。

表1からは分らないが、中国は化石燃料資源に恵まれている。しかし、原油埋蔵量は35億トン（ 3.5×10^9 トン）でアジア地域の過半を占めているものの、14億人の国民を養うには不足している。

5. 再生可能エネルギー資源

再エネの内、太陽光発電、風力発電、地熱発電、バイオマス、水力発電について、現状とそのポテンシャルを示す。

（1）太陽光発電

環境省のポテンシャル調査⁽¹⁴⁾によると、日本の太陽光発電の導入可能量（ポテンシャル）は、設備容量で14,450万kW、発電量で年間148.9TWhと推定されている。日本の消費電力である約900TWhには及ばない。「第6次エネルギー基本計画」（第6次エネ基）⁽¹⁵⁾では、2030年度に129～146TWhを想定しており、日本のポテンシャルと同程度である。

世界銀行（The World Bank）も世界各国の地政学情報を報告⁽¹⁶⁾している。各国の平地面積とともに表2に示す。生産地域の中での代表国のデータは国名とともに示した。時間ポテンシャルの総和の1%を年間ポテンシャルとすると、日本のポテンシャルは年間168TWhで、前述の環境省の値と同程度であ

表1 原油と天然ガスの埋蔵量、生産量、R/P⁽¹³⁾

	地域・国	原油			天然ガス		
		埋蔵量	生産量	R/P	埋蔵量	生産量	R/P
		10 ⁹ トン	10 ⁶ トン	年	10 ¹² m ³	10 ⁹ m ³	年
需要国	日本	—	—	—	—	—	—
	ドイツ	—	—	—	—	5	4
	フランス	—	—	—	—	—	—
	英国	0	48	9	0	40	5
	米国	8	713	11	13	915	14
生産地域・国	オーストラリア	0.3	20	14	24	143	17
	ヨーロッパ	1.8	167	10	3.2	219	15
	北米	36.1	1060	28	15.2	1109	14
	中南米	50.8	300	151	7.9	153	151
	ロシア	14.8	524	28	37.4	639	28
	アジア	5.8	333	17	14.2	510	17
	中東	113.2	1297	83	75.8	687	83
	アフリカ	16.6	327	50	129	231	50

注）R/Pは埋蔵量／年間生産量

表2 太陽光発電の地域、国別年間ポテンシャル⁽¹⁶⁾

	地域・国	代表国	面積	平地の割合	年間日射量	ポテンシャル
			万km ²	%		
需要国		日本	36	35	3.6	168
		ドイツ	35	73	3.0	277
		フランス	55	81	3.5	563
		英国	24	85	2.6	194
		米国	915	66	4.5	9,916
生産地域・国	オーストラリア	オーストラリア	769	23	5.8	3,719
	ヨーロッパ	フランス	55	81	3.5	563
	北米	米国	915	66	4.5	9,916
	中南米	ブラジル	836	54	5.3	8,698
		チリ	74	48	5.8	750
	ロシア	ロシア	1,638	45	3.1	8,392
	アジア	インドネシア	181	33	4.6	1,008
	中東	サウジアラビア	215	38	6.2	1,852
	アフリカ	アルジェリア	238	23	5.9	1,184
		ナイジェリア	91	97	5.4	1,754
		南アフリカ	121	84	5.6	2,094

る。英国は、日本よりも国土面積が小さいが平地の割合は大きい。しかし、日射量が小さいため、ポテンシャルは同程度である。一方、ドイツやフランスは、国土面積が日本と同程度でも、平地の割合が大きく、ドイツは日本の2倍、フランスは3倍と、そのポテンシャルは大きい。

国土面積が日本より格段に広い、米国、オーストラリア、ロシア、ブラジルなどは、年間日射量は地域により差があるものの、年間の発電ポテンシャルは日本の数十倍規模もある。ポテンシャルの高さから、これらの国で生産される再エネを、日本や英国など再エネが十分ではない国に輸送し使用する可能性は高い。

と見込んでおり、ポテンシャルから見れば、十分に実現可能な量である。

海外文献⁽¹⁸⁾を基に、世界の風力発電ポテンシャルを表3に示す。環境省調査での日本のポテンシャルと比べると陸上風力発電は同等、洋上風力発電ではさらに大きくなっている。これは、日本周辺の海洋深度などを踏まえた事業性評価により、ポテンシャル推定に大きな違いが現れたものと考えられる。

英国は、国土面積は日本より狭いが、平野の割合が高く、風況が良い遠浅の北海を有し、陸上、洋上風力発電とも日本よりポテンシャルが大きい。

表3 風力発電の地域、国別年間ポテンシャル⁽¹⁸⁾

	地域・国	代表国	風力発電ポテンシャル	
			陸上	洋上
			TWh	TWh
需要国		日本	570	2,700
		ドイツ	3,200	940
		フランス	—	—
		英国	4,400	6,200
		米国	74,000	14,000
生産地域・国	オーストラリア	オーストラリア	—	—
	ヨーロッパ	フランス	—	—
	北米	米国	74,000	14,000
	中南米	ブラジル	—	—
		チリ	—	—
	ロシア	ロシア	120,000	23,000
	アジア	インドネシア	2,900	1,100
	中東	サウジアラビア	—	—
	アフリカ	アルジェリア	—	—
		ナイジェリア	—	—
		南アフリカ	—	—

(2) 風力発電

風力発電のポテンシャルは、陸上風力でこそ限られるが、洋上風力を含めると膨大な量となる。環境省のポテンシャル調査⁽¹⁷⁾によると、日本の陸上風力発電の導入可能量は、発電量で年間553.2TWh、洋上風力発電では着床式が年間237.9TWh、浮体式が年間116.2TWhで、合計すると年間907.3TWhである。これは、太陽光発電の6倍に相当する。

第6次エネ基では、2030年に陸上風力発電が年間34TWh、洋上風力発電が年間17TWh

(3) 地熱

地熱の資源量が多い国は、経済産業省⁽¹⁹⁾によれば、表4に示すように、1位から5位までが環太平洋火山帯に位置している。一方、6位のアイスランドは、大西洋上のホットブルームに位置している。

表4 世界の地熱資源量と地熱発電設備容量⁽¹⁹⁾

地熱資源量			地熱発電設備容量		
順位	国	万kW	順位	国	万kW
1	米国	300	1	米国	309.9
2	インドネシア	278	2	フィリピン	190.4
3	日本	235	3	インドネシア	119.7
4	フィリピン	60	4	メキシコ	95.8
5	メキシコ	60	5	イタリア	84.3
6	アイスランド	58	6	ニュージーランド	62.8
7	ニュージーランド	37	7	アイスランド	57.5
8	イタリア	33	8	日本	53.6

発電設備容量は、資源量の多い国が上位を占め、日本は2012年では8位と出遅れている⁽¹⁹⁾。第6次エネ基によると、現時点では、59.3万kW、年間2.8TWhと若干増えている。また、2030年には努力継続ケースとして66.6万kW、年間3.04TWhを想定している。

地熱資源量235万kWを年間発電量に換算すると、年間123TWh（利用率60%と仮定）となり、太陽光発電と同程度になる。太陽光発電や風力発電のような変動性再エネではないので、エネルギー・セキュリティー面から大いに期待したいが、日本全体の発電量に対して、その割合は小さいのが現状である。

地政学の観点からは、日本にとって、比較的近いインドネシアやフィリピンが有望である。しかし、両国とも地熱資源の規模が小さいため、「海外からの再エネ導入」として考慮するにとどめる。

(4) バイオマス

バイオマス発電は、第6次エネ基によれば、現時点で年間26.2TWhであり、原料の安定供給確保と持続可能性に課題がある。努力継続ケースで、2030年度には年間43.1TWhの導入を想定している。この値は、太陽光発電や風力発電に比べて小さく、また、主に国内資源に限ったものである。なお、本稿では、海

外からのバイオマスの輸入は、「海外からの再エネ導入」の一部として扱う。

(5) 水力発電

水力発電は、第6次エネ基によれば、現時点で年間81.9TWh、2030年度には、努力継続ケースで年間85.4TWh、政策強化ケースで年間93.4TWhを想定している。リプレース（更新および増設）時期となっている大規模水力発電所も多く、中小水力の開発を進めるにしても、大幅な増加は難しい。

電力の国際間の流通は、ヨーロッパや北米などの地域内がほとんどである。本稿では、輸入電力の種類を分けることができないので、「海外からの再エネ導入」の一部として取り扱う。

6. 再生可能エネルギーの輸送

再エネの輸送法については、ケーブルでの送電だけではなく、様々なエネルギーキャリアに変換することが考えられる。再エネ電力を用いて、水の電気分解により水素を製造する場合には、水素、アンモニア、メタンのような気体を液化して輸送するケースや、液体であるメタノールやメチルシクロヘキサンに転換する方法が考えられる。

当研究所の報告書⁽²⁰⁾では、図5に示すように、4,000km以内であれば、ケーブルでの送電が考えられるが、4,000km以上となると、なんらかのエネルギーキャリアに変換して輸送の方が経済性で有利に働く。

天然ガスの輸送では、短距離ではパイプライン、長距離では液化天然ガス（LNG）の方が低コストである。Gaille Energy Blog⁽²¹⁾によると、両者の分岐点は、海洋パイプラインで700マイル（1,120km）、陸上パイプラインで2,300マイル（3,680km）である。日本の場合、サハリンであれ、インドネシア、オーストラリアであれ、LNGが選択される。ドイツの場合は、ロシアからのパイプライン「ノードストリーム1」が1,222km、「ノードストリーム2」が1,230kmあ

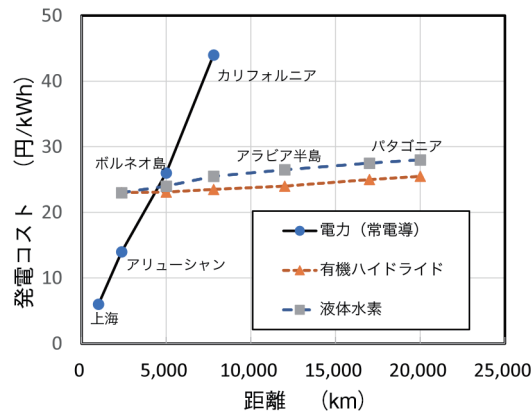


図5 3種類のエネルギーキャリアによる発電コストの比較⁽²⁰⁾

る。この距離は、おおよそパイプラインとLNGの分岐点であり、パイプラインが選択された。

また、ヨーロッパでは、多くの直流送電プロジェクトが実施されている⁽²²⁾。中でも、ノルウェーから英国まで、140万kWを送電する“North Sea Link” (720km) は最長である。

アジアでも、シンガポールに拠点を置くSun Cable社が主体となって「オーストラリア・ASEAN-パワーリンク」(AAPL) プロジェクトが進んでいる。これは、オーストラリア北部のノーザンテリトリー州にある世界最大級(12,000ha)の太陽光発電システムから、3,700kmもの長さの高電圧直流(HVDC)海底送電ケーブルを使って、インドネシアやシンガポールへ再エネ電力を届けようというものである。このプロジェクトを日本に応用するには、再エネ電力源の候補地オーストラリアとは、4,000km離れているので、ケーブルではなくエネルギーキャリアへの変換が必要となる。

なお、安価かつ豊富に再エネの調達が可能なおーストラリアのような国で、再エネ電力由来のエネルギーキャリアの輸送とCO₂輸送を組み合わせる国際的なカーボンリサイクルスキームを構築すれば、日本の一次エネルギーのかなりの割合を賄うことが可能であることは、既に著者ら⁽²³⁾が示している。

エネルギー・セキュリティの検討に当たっては、このように輸送距離に応じて適切な方法が採用されることを前提に、距離に応じて、輸送コストがかかることにも配慮した。

7. エネルギー・セキュリティ検討の方法

セキュリティに関わる因子として、以下の5つが考えられる。

- A：資源のポテンシャル
- B：輸入先の信頼性
- C：輸送ルート中のチョークポイントの有無
- D：生産における経済性
- E：輸送の利便性

ある国にとって、エネルギー供給の安全性を評価するには、これらの因子を組み合わせる新たな指標を策定するのが適当である。既往の研究では、個別の因子ごとにその影響を評価しているが、本稿では、それらを掛け合わせて新たな指標を策定し評価を行う。

各因子A, B, D, Eについて、各10ポイントを満点として、セキュリティ度が下がると点数が下がるものとした。Cについては、 $(10 - (\text{輸送ルート中のチョークポイントの個所数}) / 10)$ とし、これらを掛け合わせて得られた地域ごとの点数 X_{ij} を、化石エネルギーとCO₂フリーエネルギー(国内・海外再エネ+原子力)について各々、輸入先の地域・国ごとに求める。4因子のすべてがポイント「10」で、チョークポイントがない場合、 X_{ij} は10,000($= 10^4$)になる。 X_{ij} に地域・国ごとのシェアを掛けて加算し、さらに輸入先のシェアを点数化した「1-HHI」(後述)を掛けた値を、「国家エネルギー・セキュリティ指数」(Index of National Energy Security (INES))とする。

$$X_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times C_{ij} \times D_{ij} \times E_{ij} \cdots \cdots (1)$$

$$C_{ij} = (10 - (\text{輸送ルート中のチョークポイントの個所数})) / 10 \cdots (2)$$

$$INES_i = \sum_{j=1}^n (X_{ij} \times Y_{ij}) \times (1 - HHI) \cdots \cdots (3)$$

A_{ij} : 資源のポテンシャル

B_{ij} : 国の信頼性

C_{ij} : 輸送ルート中のチョークポイント指数

D_{ij} : 生産における経済性

E_{ij} : 輸送の利便性

HHI_i : ハーフィンダール・ハーシュマン指数

X_{ij} : 需要国 i における生産国 j の点数, 「化石エネルギー」と「CO₂フリーエネルギー」各々に設定

Y_{ij} : 需要国 i における一次エネルギーに占める生産国 j のシェア, 「化石エネルギー」と「CO₂フリーエネルギー」各々に設定

i : 需要国の付番, 1 ~ m

j : 生産国の付番, 1 ~ n

以上を式で表すと上のようになる。 X_{ij} を各因子の掛け算としたのは、いずれの因子も、不十分な状況では、大きくマイナスの影響があるからである。各因子の和では、マイナスの因子があっても他の因子で補完が容易であることによる。

輸入先がある国に集中すると、輸入先の緊急時に安全性が低下する。そこで、この評価については、ハーフィンダール・ハーシュマン指数（HHI）を導入した。HHIは、企業の競争状態を示す指数として用いられ、個別事業者ごとに当該事業者の事業分野占拠率（%）を二乗した値を計算し、それを当該品目に係る全事業者について合計したものと定義される。本検討では、ある需要国の輸入先の一次エネルギーのシェアの二乗を求めて加算し、先に求めた指数に（1-HHI）を掛けることで反映することとした。すなわち、多くの国に分散すると、1に近づき、一国に集中するとゼロとなる。

$$HHI_i = \sum_{j=1}^n (Y_{ij})^2 \cdots \cdots (4)$$

2030年、2050年に海外から再エネを調達する場合、2019年度の再エネ地域ポイント X_{ij} の割合に基づくものとする。

自給率は、直接の入力因子ではないが、自国用のエネルギーの調達では、B（国の信頼性）、E（輸送の利便性）は「10」、C（チョークポイント）（後述）は「1」となるので、Xの値は高くなる。

8. 入力条件

（1）需要国、生産地域・国

日本、ドイツ、フランス、英国、米国の4カ国を需要国とする。日本の在り方を検討する上で、普遍的価値を共有するG7（主要7カ国）から、この4カ国を選定した。日本、米国、英国は、シーパワーの国であり、ドイツとフランスは、リムランドに位置し、ランドパワーの傾向にある。生産地域・国としては、オーストラリア、アジア、北米、中南米、ロシア、中東、アフリカ、ヨーロッパ、その他、とする。

（2）国の信頼度（カントリーリスク）

国の信頼度については、㈱日本貿易保険（NEXI）⁽²⁴⁾が逐次、OECDカントリーリスク専門家会合において評価を行っており、それをもとに、NEXIは各国をリスクの観点からA～Hのランクに分けている。また、「その他」はFとしている。

2022年の最新データを基に、表5のように自国のポイントを「10」、セキュリティ度が最も高いAのポイントを「9」とし、最も低いHのポイントを「3」と換算する。

（3）チョークポイント

チョークポイントとは、シーレーンの制約となる海峡や運河などである。日本にとって、原油輸入の観点から、ホルムズ海峡やマラッカ海

表5 国・地域のセキュリティ指標⁽²⁴⁾

地域・国	ランク	ポイント
自国	—	10
オーストラリア	A	9
ヨーロッパ	A	9
北米	A	9
中南米	E	5
ロシア	H	3
アジア	D	6
中東	C	7
アフリカ	F	4
その他	F	4

海峡が思い浮かぶ。世界では、この他にスエズ運河やパナマ運河、ジブラルタル海峡、バブ・エル・マンデブ海峡などの国際海峡が挙げられる。

資源を船で輸送する場合、これらのチョークポイントを各々「1」とカウントし、それを「10」から差し引いた。さらに、南沙諸島（スプラトリ諸島）やソロモン諸島など南太平洋についても、さらなる中国の勢力拡大を危惧して、当面「0.5」とした。例えば、中東から日本に原油を運ぶ際のチョークポイントは、ホルムズ海峡、マラッカ海峡、南シナ海の合計で「2.5」となる。

（4）ポテンシャルと生産の経済性

化石燃料、特に原油と天然ガスについて、表1の生産量と埋蔵量を参照し、さらに、原油の生産コスト（2016年時点）⁽²⁵⁾を考慮して、ポテンシャルおよび生産の経済性をポイント化し、表6に示す。

天然ガスの生産コストについて各国をリストアップしたものは、見当たらない。米国の Henry Hub（ヘンリー・ハブ）価格⁽²⁶⁾は、2018～2021年に、1.63～5.55米ドル/MMBtuで推移している。生産コストは、地域によるものの、2～3米ドル/MMBtu程度と推測される。原油への熱量換算で、11～17米ドル/バレル（1バレル＝5.5514MMBtuで換算）となる。また、オーストラリア東部では、標準的なケースで、2015年時点で、3.7～5.3豪ドル/GJ（16～23米ドル/バレル）と推算している⁽²⁷⁾。アジアについては、国際エネルギー機関（IEA）が、インドで2～6米

表6 原油と天然ガスのポテンシャルと生産の経済性⁽²⁵⁾

	地域・国	原油生産コスト		ポテンシャルの ポイント	経済性の ポイント
		代表国	米ドル/バレル		
需要国	日本			3	2
	ドイツ			3	3
	フランス			3	3
	英国			7	5
	米国			9	8
生産地域・国	オーストラリア		—	7	9
	ヨーロッパ	英国	44	7	5
	北米（シェール以外）	米国	21	9	8
	北米（シェール）		23		
	中南米	ブラジル	35	8	5
	ロシア		19	9	8
	アジア	インドネシア	20	8	8
	中東	サウジアラビア	10	10	10
	アフリカ	ナイジェリア	29	8	7

ドル/MMBtu（11～33米ドル/バレル）、中国で3.5～6米ドル/MMBtu（19～33米ドル/バレル）と報告している⁽²⁸⁾。中東では、これらよりかなり低コストと考えられている。

また、再エネ発電について、表7に国際再生可能エネルギー機関（IRENA）⁽²⁹⁾が公表した太陽光発電コストと風力発電コストを示す。

該当する地域でエネルギーを生産する場合の経済性のポイントについて、日本のポイントを「5」とし、経済性が高い場合（コストが低い場合）を「10」、極めて低い場合（コストが高い場合）を「1」とした。化石エネルギーと再エネに分けて点数付けを行った。また、需要国の再エネのポテンシャルおよび経済性については、原子力、地熱、水力も考慮してポイントを決めた。

日本のポイントは「5」。英国は、太陽光発電は同程度であるが、風力発電のポテンシャルが大きいので「6」、ポテンシャルが日本の2倍のドイツは「6」、3倍のフランスは、原子力のシェアが高いことも考慮し「7」、ポテンシャルが日本の20倍以上のロシア、米国、オーストラリアは「10」とした。

経済性については、太陽光発電と風力発電のコストを参照し、日本のポイントを「5」、経済性が優れている中東やオーストラリアのポイントを「10」として順次点数化する。原子力を含むものとしてフランスを高めに設定した。

表7 太陽光発電と風力発電のコストと CO₂ フリーエネルギー（再エネ+原子力）の経済性のポイント

	地域・国	太陽光発電		風力発電		ポテン	経済性
		代表国	コスト	地域・国	コスト*	シャルの	の
			(米ドル/kWh)		(米ドル/kWh)	ポイント	ポイント
需要国	日本	日本	0.17			5	5
	ドイツ	ドイツ	0.11			6	7
	フランス	フランス	0.10			7	8
	英国	英国	0.15			6	6
	米国	米国	0.10			10	9
生産地 域・国	オーストラリア	オーストラリア	0.09	オセアニア	0.052	10	10
	ヨーロッパ	フランス	0.10	ヨーロッパ	0.047	6	7
	北米	米国	0.10	北米	0.037	10	9
	中南米	ブラジル	0.12	ブラジル	0.041	10	8
		チリ	0.07	その他	0.044		
	ロシア	ロシア	0.23	ユーラシア	0.047	10	4
	アジア	インドネシア	0.11	その他	0.081	7	6
	中東	サウジアラビア	0.09			8	10
	アフリカ	アルジェリア	0.05	アフリカ	0.055	10	10
		ナイジェリア	0.10				
南アフリカ		0.11					

※ 風力発電コストは、陸上風力のケース

表8 船による輸送距離と輸送利便性ポイント

海 里	地域内	0 - 2,000	2,000 - 4,000	4,000 - 6,000	6,000 - 8,000	8,000 - 10,000	10,000以上
ポイント	10	9	8	7	6	5	4

※ 1海里は1.852 km

表9 国・地域間の距離によるポイント

地域・国	距離を求める上で 想定した港	日本	オーストラリア	ヨーロッパ	北米	中南米	ロシア	アジア	中東	アフリカ
日本	横浜	10	7	4	7	4	9	8	6	4
オーストラリア	ニューキャッスル		10	4	6	6	7	7	6	6
ヨーロッパ	ロッテルダム			10	8	6	9	5	6	8
北米	ニューヨーク/サンフランシスコ				10	7	7	6	5	8
中南米	サンパウロ/バルパライソ					10	6	6	7	7
ロシア	サンクトペテルブルク/ウラジオストク						10	7	6	8
アジア	ジャカルタ							10	7	6
中東	ドバイ								10	7
アフリカ	アルジェ/ケープタウン									10

（5）輸送の利便性

需要国が自国や同一の地域でエネルギーを消費する場合は、需要国・地域のポイントを「10」とし、離れるに従い、ポイントが下がるものとする。

対象となる国・地域間での船による輸送距離を求め、表8の基準でポイントに換算した結果を表9に示す。船の輸送距離は、各地域の代表的な港を基準に、SeaRoutes-distance calculator⁽³⁰⁾ および Ports.com⁽³¹⁾ で求めた。

北米、ロシア、中南米は表9に示す東西の港を、アフリカは南北の港を候補とし、近い方の距離をポイントに変換した。

（6）ポイントのまとめ

以上をまとめて、需要国である自国について表10に、生産国である輸入先について表11に要点を示す。生産地域の「その他」は、地域の平均とした。

（7）各国の一次エネルギー推移の検討

一次エネルギー推移については、エネルギーの収支を流れ図で表現したIEAのサンキー・ダイアグラム⁽³²⁾における2019年の統計を基準とする。2020年以降はコロナ禍のため例年から大きくずれるからである。また、2030年、2050年については、表12を仮定し、これを標準ケースとする。各国の想定値を表13に示す。

表 10 需要国のポイント

代表国	ポテンシャル		国の信頼性	経済性		輸送利便性*
	化石	CO ₂ フリーエネルギー		化石	CO ₂ フリーエネルギー	
日本	3	5	10	2	5	10
ドイツ	3	6	10	3	7	10
フランス	3	7	10	3	8	10
英国	7	6	10	5	6	10
米国	9	10	10	8	9	10

※ チョークポイントは無いものとする。

表 11 生産地域・国のポイント

エネルギー 生産地域・国 /分類	ポテンシャル		チョークポイント			経済性		輸送利便性		
	化石	CO ₂ フリーエネルギー	日本	ヨーロッパ	米国	化石	CO ₂ フリーエネルギー	日本	ヨーロッパ	米国
オーストラリア	7	10	0.5	2	0	9	10	7	4	6
ヨーロッパ	7	6	0	0	0	5	7	4	10	8
北米	9	9	0	0	0	8	9	7	8	10
中南米	8	10	0	0	0	5	8	4	6	7
ロシア	9	10	0	0	0	8	4	9	9	7
アジア	8	7	0.5	2	0.5	8	6	8	5	6
中東	10	8	25	1	1	10	10	6	6	5
アフリカ	8	10	1	0	0	7	10	4	8	8
その他*	9.7	10.0	0.6	0.8	0.3	8.8	9.0	7.5	8.0	8.2

※「その他」は、各地域の平均値として算出

表 12 各国の 2030 年，2050 年までの一次エネルギー推移検討の仮定

● 日本は 2030 年度については，第 6 次エネ基によると，2019 年度に比べて 89% となっている。他の国も同様の比率とする。
● 化石燃料の輸入先の比率は，2019 年度と同じとする。再エネの輸入先は，Xij の比率による。
● 2050 年度の一次エネルギー量は，2030 年と同量とする。
● 石炭は，2030 年に削減，2050 年には各国ゼロとする。
● 原油と天然ガスは，2030 年では第 6 次エネ基と同様の削減，2050 年には大幅削減とし，2019 年の 20% とする。化学品などの製造から，若干量が必要との考えによる。
● 原子力は，各国の政策から，フランスと英国で増強とする。
● 国内の再エネは，2030 年に 2019 年の 1.5 倍程度を標準とし，国によって調整する。例えば，フランスは 1.5 倍では，エネルギーがバランスしないので，1.2 倍とする。2050 年はさらなる導入とする。海外からの再エネは，残りの分とする。
● CO ₂ フリーエネルギー（国内・海外再エネ＋原子力）は，一次エネルギーの 80% 以上となるように設定している。残りの 20% 弱は，ブルー水素，ブルーアンモニアのような，化石燃料と炭素回収貯留（CCS）の組み合わせにより製造する燃料や，国内での CCS，カーボンフットプリントによる CO ₂ 削減を想定する。

表 13 各国の 2030 年，2050 年の想定値

	国	一次エネルギー合計	石炭	石油	天然ガス	原子力	国内再エネ	海外再エネ
2030年	日本※	第6次エネ基	19%	31%	18%	9%	22%	1%
	ドイツ	2019年比 89%	2019年の50%			廃止	2019年の1.5倍	残り
	フランス		0%	2019年の66%	2019年と同等	2019年と1.2倍		
	英国				2019年の1.5倍	2019年の1.5倍		
	米国				2019年の50%	2019年と同等	2019年の2倍	
2050年	日本	2030年と同等	0%	2019年の20%	2030年と同等	2030年の1.5倍	残り	
	ドイツ				廃止	2019年の2倍		
	フランス				2019年と同等			
	英国				2019年の1.5倍			
	米国				2019年と同等			2019年2の6倍

※ 一次エネルギー内の割合を示す。

9. INES の推移

(1) 各国の INES の推移

計算の結果、米国、ヨーロッパ諸国、日本では、図 6 に示すように、2050 年に向けて INES が若干向上する。これは、再エネが化石資源に比べて地域の偏在が少ないことによる。

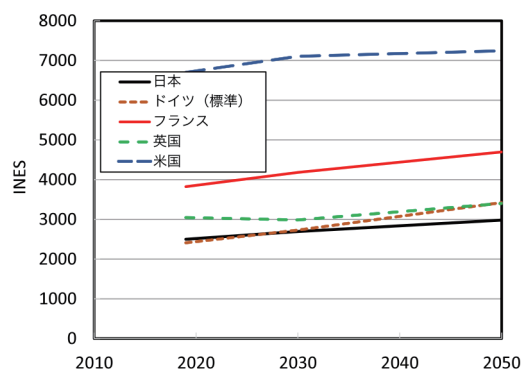


図 6 2050 年に向けた国ごとの INES の推移

これらの国の中で、米国は圧倒的に INES が大きく、エネルギー・セキュリティ度が高い。これは、国内に十分な化石資源と再エネ資源があることによる。一方、ヨーロッパでは、国により事情が異なる。ドイツが、フランス、英国に比べて低いのは、原子力を廃止すること、天然ガスをロシアに頼ってきたことによる。

日本の INES は、現在から 2050 年まで、英国やドイツに比べると、若干低い状態となっている。自給率が比較対象となる国々より格段に低いことによる。

CO₂ フリーエネルギーの割合は、2050 年に 80% 以上となるように設定している。図 7 に示すように、国により原子力の比率が異なるために、その道程は大きく異なる。

ドイツでは、ロシアから輸入している原油と天然ガスを全量、北米産に振り替えるとすると、図 8 に示すように INES が格段に上がる。そのためには、ロシア以外での天然ガス生産の増強だけでなく、大幅な LNG 設備の新設・増設が必要である。一方、2050 年では、再エネの割合が高いので、その差は小さい。

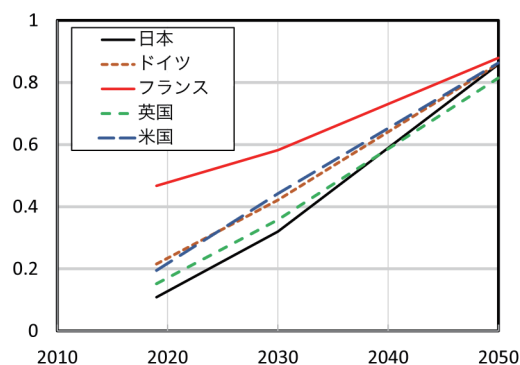


図 7 各国の CO₂ フリーエネルギー（国内・海外再エネ＋原子力）の割合の推移

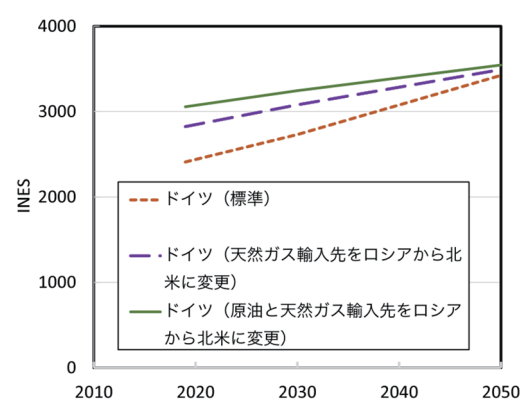


図 8 ドイツの原油・天然ガス輸入先をロシアから北米に変更した場合の INES の違い

(2) シェアの影響

図 9 に、2050 年に日本がオーストラリアから輸入する再エネのエネルギー全体に占めるシェアと INES の関係を示す。標準ケースでは、国内を含めた一次エネルギーに対するシェ

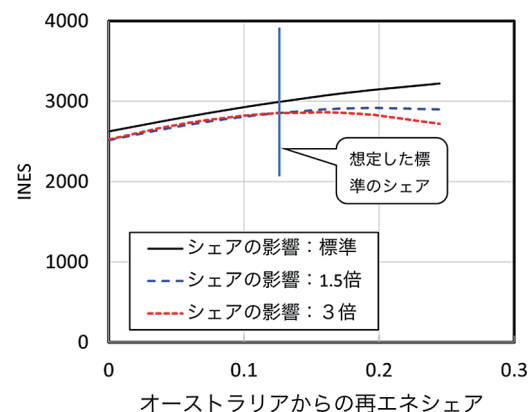


図 9 2050 年における日本の輸入先としてのオーストラリアからの再エネシェアの影響

アは12.2%あり、このシェアを上げることで INES は増加する。すなわち、シェアを上げることで HHI が増大し INES が下がるが、オーストラリアの「再エネにおける地域ごとの点数 X_{ij} 」が他国に比べて高いことから、INES が高くなっているのである。しかし、オーストラリアからの再エネシェアが大きいと、INES が下がる影響を標準の1.5倍、3倍に上げた場合、オーストラリアのシェアが15～20%前後の所で INES が極大となることが分かる。オーストラリアからの再エネシェアが15～20%と言うのは、日本の輸入エネルギーの28～37%に相当する。このことから、標準ケースから若干大きい20%程度のシェアが適当と考えられる。

2050年の日本の一次エネルギーに占める国内CO₂フリーエネルギー（国内再エネ＋原子力）のシェアは、46.4%と設定した。これを变化させたのが図10である。国内CO₂フリーエネルギーのシェアが40%までは INES は高い値となるが、さらにシェアを高めると、INES の値が下がる傾向にある。日本国内の再エネコストが、海外再エネのコストに比べて低い場合には、日本の再エネシェアを高めに、そうでない場合は、低めに設定することになる。

10. 考察

第6次エネ基では、日本のエネルギー自

給率は、2020年度で11%程度⁽³³⁾、2030年度には30%を目指すとしている。自給率は、2020年時点で、ドイツ35%、フランス55%、英国75%、米国106%であることに比べて格段に低い⁽³³⁾。現在、日本が欧米諸国に比べて、INES が若干低い程度で留まっているのは、長年の各界の努力により信頼できる輸入先があり、輸入ルートが守られていることによる。

今後の国内CO₂フリーエネルギーのシェアは、2030年に31%、2050年に46%を想定している。日本の一次エネルギーの20%程度の再エネを、オーストラリアから導入することで、実質カーボンニュートラルである2050年にあっても、INES を現在と同程度以上に保つことが可能である。

日本の国内CO₂フリーエネルギーのシェアを40～50%以上に上げると、INES は下がる傾向があることに注意を要する。国内の再エネと海外から導入する再エネのコスト差によっては、適正な国内シェアが変わることがある。また、変動性再エネについては、現状でも電力会社が再エネ事業者に出力抑制を要請する日が増えており、今後、送電網の整備と蓄電設備の設置が必要である。また、原子力の再稼働と増強や、地熱などの変動性ではない再エネの導入促進も欠かせない。

オーストラリアに次いで、再エネにおける地域ごとの点数 X_{ij} が高いのは、北米と中東、

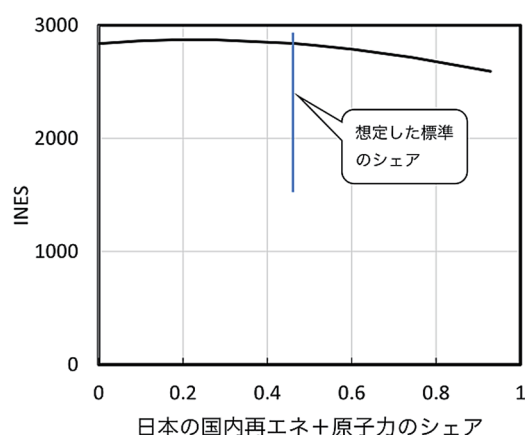


図10 2050年における日本の一次エネルギーに対する国内CO₂フリーエネルギー（国内再エネ＋原子力）のシェアの影響

中南米である。これらの国々からの再エネの導入も確保していくことが日本の INES を保つ上で望ましい。「インド太平洋戦略」に見られるように、これらの国から輸入する場合のシーレーンの確保は、再エネの時代になっても、化石燃料に頼っている現在以上に重要である。ランドパワーの国の海洋進出に対して、十分に対応していくことが「国是」である。今後、ますます、シーパワーの国同士の連携などの外交努力が必要となろう。

今回対象とした各因子の重みは、一義的に決まるものではない。過去の実績や将来の政治動向をも踏まえて、地政学的な判断を行っていくのが今後の課題である。

日本国内の変動性再エネを増やすに伴い、大規模な蓄電設備の製造で使われるリチウムやコバルト、ニッケルなどのレアメタル、モータなどに必要なネオジウムなどのレアアースが大量に必要となる。これらは地球上で偏在しており、エネルギー資源と同様、セキュリティの課題となる。2022 年 5 月には、「経済安全保障推進法」が成立し、ますますエネルギーの安定供給確保が求められる。今後、これらレアメタル、レアアースの重要物資面から、さらなる検討が必要になろう。

11. 提言

本検討から、2050 年に向けての日本の将来に対して次の点を提言する。

- 日本は、2050 年に向けて、INES が主なヨーロッパ諸国より低い。エネルギー・セキュリティの観点から、国内の再エネをできるだけ活用することは重要であるが、同時に、安定電源や燃料の確保の観点から、原子力の活用や海外からの再エネ由来のエネルギーキャリアを大幅に導入することが必要である。
- オーストラリアは、太陽光発電と風力発電に十分なポテンシャルを有しており、また、経済性も有していることから、安定した信頼関係を維持していくことが重要であり、同時にシーレーンの確保、そのためのシーパワーが必要である。しかし、オーストラリアのみに頼るリスクも存在する。中東諸国や北

米、中南米諸国の再エネにも、戦略的にある程度のシェアを政策的に設定しておくことが望ましい。

- 2050 年に向けて、化石燃料の利用が徐々に減少するものの、再エネ中心に一挙に変わるわけではない。再エネを日本に輸入する際のエネルギーキャリアを適切に選択し、既存のエネルギーインフラを活用しつつ、トランジションをスムーズに行う視点が欠かせない。

12. おわりに

エネルギー・セキュリティに関わる因子をまとめて、現在から 2030 年、2050 年への実質カーボンニュートラルへの道程を総合的に評価した。日本は、ドイツ、フランス、英国などの主要国と比べて、第 6 次エネ基での施策では、エネルギー・セキュリティ度は若干低い程度であった。原子力を積極的に導入している国は、エネルギー・セキュリティ度が高く、また、ロシアなどからパイプラインで天然ガスを導入するドイツでは低くなった。ロシアからの天然ガスに代わって、北米から LNG を調達することで改善するが、2050 年の実質カーボンニュートラルが実現した際には、再エネが中心になるので、その差は小さい。

日本は、2050 年に向けて、国内の再エネに頼るだけではなく、海外からも安価かつセキュリティに優れた再エネを、複数の国から導入していくことが必要であり、そのためには、これらの国々との強固な信頼関係とシーレーンの確保が必須である。また、国内では原子力の活用も重要である。折しも筆を走らせる中、ちょうど、バイデン米国大統領が来日し、日米豪印の 4 カ国による外交・安全保障の協力体制の確認のために日米豪印（QUAD）首脳会合が開かれた。まさに本稿で議論した内容に通ずるところがあるのではなかろうか。

本稿の試みは、従来の因子ごとの評価とは異なり、各因子をまとめて評価するものである。そのため、各因子の重みづけをどのように設定するかは課題がある。今後の研究で、

実績を踏まえて、これら因子間の相関や重みについて検討していきたい。

参考文献

- (1) アルフレッド・セイヤー・マハン,『マハン 海上権力史論』,原書房,2008年
- (2) ハルフォード・ジョン・マッキンダー,『マッキンダーの地政学 デモクラシーの理想と現実』,原書房,2008年
- (3) 出口治明,『教養としての地政学入門』,日経BP,2021年
- (4) 小泉悠,『「帝国」ロシア地政学』,東京堂出版,2019年
- (5) 奥山真司,『サクッとわかるビジネス教養 地政学』,新星出版社,2020年
- (6) ローリー・メドカーフ,『インド太平洋戦略の地政学』,芙蓉書房出版,2022年
- (7) 戒能一成,「エネルギー安全保障の定量的評価の研究」2004年 (<https://www.rieti.go.jp/users/kainou-kazunari/X0820GKAprt1.pdf>)
- (8) 資源エネルギー庁,『2010年版エネルギー白書』,2010年
- (9) 資源エネルギー庁,「エネルギー白書2015 第3節 主要国の「エネルギー安全保障」の変化」,2015年
- (10) 経済産業省,「エネルギー白書2021年版 第3章エネルギーセキュリティの変容」,2021年
- (11) (一財)日本エネルギー経済研究所,「平成30年度エネルギー戦略立案のための調査・エネルギー教育などの推進事業(各国エネルギー戦略の定量分析・災害時におけるエネルギーインフラ事業の在り方整理)調査報告書」,2010年
- (12) ダニエル・ヤーギン,『新しい世界の資源地図 エネルギー・気候変動・国家の衝突』,東洋経済新聞社,2022年
- (13) BP,“Statistical Review of World Energy 2021 70th edition”,2021
- (14) 環境省,「2012年度 再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備 太陽光発電」,2012年
- (15) 資源エネルギー庁,「第6次エネルギー基本計画」,2021年
- (16) The World Bank,“Global Photovoltaic Potential Country Rankings”,2021
- (17) 環境省,「2015年度 再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備 風力発電」,2015年
- (18) Lu X, et al.,“Global potential for wind-generated electricity”,Proc. National Academy Sci USA, 106, (27), 10933, 2009
- (19) 資源エネルギー庁,「地熱資源開発の現状について」,2017年
- (20) (一財)エネルギー総合工学研究所,「平成21年度エコイノベーション推進事業 海外再生可能エネルギーの大陸間輸送技術の調査」,2010年
- (21) Gaille Energy Blog,“LNG vs. Pipeline Economics”,2018 (<https://gaillelaw.com/2018/05/16/lng-vs-pipeline-economics-gaille-energy-blog-issue-66/>)
- (22) 資源エネルギー庁,「海底直流送電の導入に向けて」,2021年
- (23) 小野崎正樹,橋崎克雄,「火力発電の脱炭素化に向けたカーボンリサイクル活用の検討」,火力原子力発電,第72巻第5号,307-314,2021年
- (24) (株)日本貿易保険,「国カテゴリー表」,(2022年4月7日現在) (<https://www.nexi.go.jp/cover/categorytable>)
- (25) KNOEMA,“Cost of Crude Oil Production by Country and Crude Oil Prices, 2020”,2020
- (26) U.S. Energy Information Administration,“Natural Gas, DATA”,2022 (<https://www.eia.gov/dnav/ng/hist/rngwhhdm.htm>)
- (27) CORE Energy Group,“Gas Production and Transmission Costs Eastern and South Eastern Australia”,2015
- (28) International Energy Agency (IEA),“Domestic natural gas production costs, LNG import prices and industry gas prices in developing Asia import markets, 2018”,2020
- (29) IRENA,“RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2020”,2021
- (30) Ports.com,“Sea route & distance”,2022 (<http://ports.com/sea-route/>)
- (31) “SeaRoutes-distance calculator”,2022 (<https://classic.searoutes.com/routing?speed=13&panama=true&suez=true&kiel=true&rivers=block&roads=block>)
- (32) IEA,“Sankey Diagram”,2021
- (33) 経済産業省産業技術環境局・資源エネルギー庁,「クリーンエネルギー戦略 中間整理」,2022年