



The Canon Institute for Global Studies

CIGS Working Paper Series No. 20-003J

コロナ後における 合理的な温暖化対策のあり方

キャノングローバル戦略研究所 研究主幹 杉山大志

2020.06

※Opinions expressed or implied in the CIGS Working Paper Series are solely those of the author, and do not necessarily represent the views of the CIGS or its sponsor.
※CIGS Working Paper Series is circulated in order to stimulate lively discussion and comments.
※Copyright belongs to the author(s) of each paper unless stated otherwise.

General Incorporated Foundation

The Canon Institute for Global Studies

一般財団法人 キャノングローバル戦略研究所

Phone: +81-3-6213-0550 <http://www.canon-igs.org>

はじめに： 気候は「非常事態」にあるのか？

いま人類は「気候危機」にあり、これを克服するためとして「気候非常事態宣言」を発し、「2050年ゼロエミッション」を目指す、とする自治体が増えている。その内容を見ると、「科学的知見」として、

- ①既に台風・豪雨・猛暑等が激甚化した
- ②将来は、更に激甚化が進む

といったことが挙げられている。

だがこれは本当か？ 本稿では、

- ①過去の観測データは台風・豪雨・猛暑の激甚化を支持しない（第1章）
- ②シミュレーションによる将来の予測は不確かである（第2章）

という事を示そう。つまりそれ程の「気候危機」は存在しない。

「コロナ非常事態宣言」の下の自粛では、経済活動が大きく制限され、結果としてCO₂も大幅に減ったが、代償として、多くの国民が生活に苦しんだ。

このコロナ禍は、極端な温暖化対策なるものが、深刻な経済影響を伴うことを国民が実感する機会となった。もしも「気候非常事態宣言」の下で「2050年ゼロエミッション」を目指すとなると、コロナ自粛をはるかに上回る経済活動の制限が、十年、二十年と継続的に必要になる。

本当に気候が「非常事態」にあるならば、かかる政策も正当化されるかもしれない。だが科学的知見は、巨額の経済的負担を正当化しない。「気候非常事態宣言」は不適切である。

さてコロナ禍は、温暖化対策を論じる前提も大きく変えた。第3章では、コロナ禍で傷んだ経済からの回復と、温暖化対策のバランスのとり方を論じる。

「コロナ禍からの経済回復は“グリーン回復”とすべきであり、CO₂を削減する投資のみを行い、CO₂を排出する産業は救済すべきではない」という意見が散見されるようになった。だがこれでは経済は悪化する一方で、経済回復に逆行するので不適切である。特に、再エネに偏重することは、最悪の結果を招くことを論じよう。

筆者は地球温暖化のリスクを否定するものでは全くない。「地球温暖化が緩やかに進行しており、CO₂がその原因の一部であり、費用対効果に気を付けながら一定の温暖化対策をすべきである」と考えている。

しかしながら、観測データに基づかずに「気候危機」を唱道し、不確かなシミュレーションに基づいて甚大な経済的痛みを国民に強要することには反対する。

コロナ禍は我々に教訓ももたらした。「x x 万人が死亡する」といったモデル予測は不確かなものであり、大きく外れた。そして現実には、感染者数や感染経路をモニタリングして、感染対策とバランスをとりつつ経済を再開する、というアプローチが取られている。

温暖化対策において筆者が危惧するのは、不確かなモデル予測に基づいて、経済を破壊してしまうことである。温暖化対策に於いても、コロナ禍同様、モデル予測が不確かである以上、観測データを正確に理解しつつ、経済活動とのバランスをとって策を講じてゆくべきである。

最後の第4章では、観測データに基づいた議論、モデルの不確かさを踏まえた議論といった、本来は科学が大事にすべきことが、何故、こと地球温暖化に関しては軽んじられるのか、日本の科学研究が置かれている構造的な問題を考察する。

本稿を書くにあたっては、出来るだけ「データに語らせる」ように心がけた。データに基づかない議論は、堂々巡りになることが多いからである。またリンクを充実させて、読者が原典に当たって直接に確認出来るようにした。

だがこのため、読みにくく感じる読者もおられるかもしれない。幅広い読者を対象とした平易な書籍は別途まとめるつもりである。

目次

はじめに： 気候は「非常事態」にあるのか？	1
第1章 観測データは「気候非常事態宣言」を支持しない	7
本稿で頻繁に参照する政府の報告	8
1 台風は強くなっていない.....	8
IPCC が言っていること	9
米国のハリケーンの統計で確認.....	11
日本の統計で確認.....	12
地球温暖化よりも油断こそが大敵	12
2 豪雨は増えてない	13
気象庁レポートの「はじめに」は、いかにも「地球温暖化が原因で豪雨が強くなった」 かの様に読めるが..	13
「気象庁レポート」の内容を検証する	14
水蒸気量が増えている？.....	17
都市化による豪雨.....	18
雨量計測の誤差.....	18
中国では悪天候は減少した	19
まとめ.....	21
3 猛暑は温暖化のせいではない.....	22
気象庁レポートの「はじめに」は、いかにも「地球温暖化が原因で異常高温が起きた」 かの様に読めるが..	22
「気象庁レポート」と「気象庁報道発表」の記述.....	22
「気象庁レポート」と「気象庁報道発表」を検証する	24
都市熱の方が地球温暖化より大きい.....	26
4 山火事は地球温暖化のせいではない	28
山火事は自然の一部だ	28
山火事は人間が管理するものだ.....	29
山火事は増えているのか、山火事の理由は何か	30
世界の燃焼面積は 25%も減った	32
まとめ.....	33
第2章 将来予測は不確かだ	34
1 SF の如き極端な排出シナリオ.....	34
IPCC の「最悪シナリオ」の排出量は多すぎて非現実的だ	35

IPCCの「大幅削減シナリオ」は極端に排出が少なく非現実的だ.....	40
2 気候モデルの予測は不確かである.....	42
地球気候モデル（GCM）とは何か.....	43
モデルは予測結果を見ながらチューニングされている.....	44
開かれたブラックボックス.....	45
たった1つのパラメーターで温度予測が大きく変わる.....	46
チューニングの実態調査が公表された.....	46
チューニングの証拠.....	48
チューニングの事実を踏まえた政策判断.....	49
モデルは現状を正確に再現できていない.....	50
予測された「急激な温暖化」は起きなかった.....	50
反証された気候モデル——熱帯の空が熱くなりすぎる.....	52
地理的な温度・降水分布が再現できない.....	54
気候モデルの選択のバイアス：北極圏の表現は改善したが、他では悪化した....	56
地球規模の水蒸気量、降水量、海流、風速が再現できない.....	59
オゾン層破壊物質が地球温暖化を起こしたかもしれない.....	60
3 問題だらけの環境影響評価.....	63
温度上昇で死亡率はむしろ減るはずである。.....	65
熱中症は地球温暖化のせいなのか？.....	65
地球温暖化すれば猛暑は増えるのか.....	67
寒い日は減るので、異常気象が増えるとは言えない。.....	68
寒さによる死亡のほうが遥かに多い.....	68
仮に「最悪シナリオ」の温度上昇であっても適応できる.....	70
我々は様々な温度に適応して生きている.....	71
政府報告書は猛暑日の増加ばかりを取り上げている.....	73
農業も温度上昇に自然体で適応してきた.....	78
未来のシミュレーションよりも、過去の適応実態を研究せよ.....	79
北極に「気候時限爆弾」は存在するのか？.....	80
地球温暖化で豪雨と台風は激甚化するのか.....	82
モデルの予測はばらついている.....	82
最悪シナリオでも適応可能な範囲にある.....	83
地球温暖化で東京が水没するというのはウソ.....	85
防災水準の向上こそが水害を防ぐ.....	87
政府報告書の問題点と改善案.....	88
第3章 コロナ禍後の合理的な温暖化対策のあり方.....	89
1 イノベーションによる地球温暖化問題の解決.....	90

地球温暖化は危険なのか？	90
極端な排出削減こそ危険.....	92
排出の削減はどう進めたらよいか？	92
二重の「迂回戦略」	94
政府の役割.....	95
2 コロナ禍の教訓： 温暖化対策は不確かな予測よりも観測に基づくべし.....	98
コロナモデルと観測データ	98
コロナ禍の温暖化対策への教訓	100
大幅 CO2 削減シナリオは「コロナ自粛フォーエバー」である	101
不確かな予測ではなく、観測データに基づいて行動すべし.....	101
コロナ禍と温暖化のタイムスパン	103
3 コロナ後の温暖化対策： 「デジタル化の推進」と「安価なエネルギー供給」 ...	103
経済回復ステージでのエネルギー政策のあり方は.....	104
デジタル化により経済成長と温暖化対策の一石二鳥を目指せ	105
安価な電力供給で経済回復とデジタル化を支えよ.....	105
安価な電力供給は長期的な CO2 削減の鍵.....	106
4 経済回復に再生可能エネルギー拡大が有害な理由	107
再生可能エネルギー価格の現状	107
同じ「キロワット・アワー (KWh) あたりの価格」でも意味が違う	108
再生可能エネルギーの本当の価値は？	108
再生可能エネルギー導入拡大は経済回復を妨害する	109
5 政府補助が太陽電池のイノベーションを阻害する	110
革新的な太陽電池への期待	110
FIT の抜本見直しのあり方	112
6 新しいエネルギー多消費産業として「クラウド」を育てよう.....	114
コロナ禍でデジタル革命に拍車がかかる	114
省エネで ICT の電力消費は抑制されてきた	114
クラウドの電力消費が爆発的に伸びる？	115
経済成長の原動力としてのクラウド	117
エネルギー多消費産業としてクラウドを育てる	118
温暖化対策としてクラウドを育てる	118
7 コロナ禍で「シェアリングでエコ」というシナリオが崩壊するのか.....	119
シェアリングでエコというシナリオ	119
コロナ禍で打撃を受けたシェアリングビジネス	120
衛生観念の深化でエネルギー消費が増大する	122
CO2 排出量の将来は： デジタル技術はますます重要になる	122

将来シナリオのドライバーとしての衛生観念.....	123
8 日本の石炭戦略	124
エネルギー安全保障のための石炭火力	124
途上国の持続可能な経済開発のための石炭火力	127
自由と平和のための石炭火力	129
温暖化対策としての電化に寄与する石炭火力.....	130
設備利用率の変化で CO2 の大幅削減は可能だ.....	131
CCS&バイオの技術開発のための石炭火力技術	132
CCU の戦略	133
提言	134
第4章 なぜまともな科学的論争が出来ないのか?	135
1 「温暖化物語」は何故存在するか。何故修正されないか。	135
2 米国の半分は地球温暖化を信じていない	138
米国では温暖化は党派問題.....	139
米国の科学者.....	140
米国のメディア.....	140
3 「政治的に正しい」温暖化研究への懸念	141
「短期間で」「役に立つ」研究を求めるプレッシャー.....	141
地球温暖化研究へのプレッシャー	144
改善に向けた提案.....	146
第5章 結論.....	149
文献.....	150

第1章 観測データは「気候非常事態宣言」を支持しない

「はじめに」で言及したように、地球温暖化のせいで災害が悪化してきたとして、多くの自治体の宣言で言及されているのは、台風、豪雨、猛暑であった。この3つが日本では特に関心が高いということだろう。自治体の宣言の一覧表はウェブに出ているので¹、いくつかランダムに眺めて確認してみよう。

「今、地球はかつてないほどの危機に瀕しています。世界各地で、猛暑、干ばつ、集中豪雨や超大型台風等の異常気象による甚大な被害が発生し、私たち人類の生命を脅かしています。」(鎌倉市)²

「2019年9月の台風第15号及び10月の台風第19号は、県内に記録的な暴風や高波、高潮、大雨をもたらし、大規模な土砂崩れや浸水等により、県内各地域で甚大な被害が生じました。世界においても、熱波、干ばつ、洪水、海面上昇などが頻発し、多くの被害が出ており、その要因は地球温暖化などの気候変動の影響とされています。今後も、このような異常気象の発生と被害リスクの増大が懸念されており、気候は、今まさに非常事態に直面しています。このような状況の中、国内のみならず世界の多くの自治体等が気候の非常事態を宣言し、気候変動対策に取り組んでいます。」(神奈川県)³

「日本でも、これまで感じたことの無い酷暑、台風の強化、短時間における集中豪雨など、全国各地で気候変動に起因すると考えられる異常気象が多発し、これにより多くの被害が発生しております。」(白馬村)⁴

「近年、本市をはじめ世界各地で想定を超える大災害が相次ぎ、人々の生活を脅かすだけでなく、多くの人命が失われている。今後も気候変動の影響により、台風や集中豪雨などの自

¹気候非常事態を宣言した自治体一覧

<https://cedgiin.jimdofree.com/%E5%AE%A3%E8%A8%80%E8%87%AA%E6%B2%BB%E4%BD%93%E3%83%AA%E3%82%B9%E3%83%88/>

²鎌倉市HP

https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/kankyo/documents/kamakurasikikouhi_joujitaissenngenn.pdf

³神奈川県HP

<https://www.pref.kanagawa.jp/documents/58334/kanagawaweatherdecalation.pdf>

⁴白馬市HP

https://www.vill.hakuba.lg.jp/material/files/group/2/hakuba_climate_emergency_declaration.pdf

然災害が頻発化・激甚化し、甚大な被害の発生が懸念されており、危機的な状況である。」
(大阪府)⁵

ではこれらの自治体の科学的知見の認識は正確だろうか。以下本章では、台風・豪雨・猛暑の3つについて見ていこう。

本稿で頻繁に参照する政府の報告

先に進む前に、本稿では、幾つかの報告を頻繁に参照するので、まずまとめて紹介しておく。

- ・政府報告書「日本の気候変動とその影響」(2018年版)

http://www.env.go.jp/earth/tekiou/report2018_full.pdf

(以下、単に「**政府報告書**」とする)、および、その概要

http://www.env.go.jp/earth/tekiou/pamph2018_full.pdf

(以下、単に「**政府報告書概要**」とする)

- ・気象庁「気候変動監視レポート 2018」(以下、「**気象庁レポート**」)

https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2018/pdf/ccmr2018_all.pdf

このレポートは「異常気象分析検討会」の下記の気象庁報道発表(以下、「**気象庁報道発表**」)を下敷きにしている:

- ・気象庁報道発表 「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の記録的な高温の特徴と要因について

<https://www.jma.go.jp/jma/press/1808/10c/h30goukouon20180810.pdf>

- ・IPCC 第五次評価報告書 第一部会報告(以下、「**IPCC 2013**」とする)

<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wgl/>

1 台風は強くなっていない⁶

要約

台風は、強くもなっていないければ、頻発もしていない。これは統計的に明らかであり、地球温暖化に関する国連の科学的諮問機関である IPCC もそう言っている。これは日本の環境

⁵ 大阪府 HP <https://www.city.osaka.lg.jp/shikai/page/0000498967.html>

⁶ 初出 拙稿 台風は強くなっていない、と IPCC は言っている
<http://ieei.or.jp/2020/03/sugiyama200327/>

省も翻訳している。⁷「気象庁レポート」でも、台風の数に増加傾向は無い、とはっきり書いている。それにもかかわらず、前述の自治体の「気候非常事態宣言」では完全に無視されていて「台風は激甚化している」といったことが十分な根拠も示さずに書いてある。

IPCC が必ず正しいとは限らないが、しかし、根拠なく徒らに危機を煽るよりも、まず観測データをきちんと確認すべきであろう。

IPCC が言っていること

台風について、IPCC の最新のまとまった報告書は 2013 年の第 5 次評価報告書である (IPCC 2013)。台風については、「政策決定者向け要約」の表 1 という、一番目立つ場所に書いてある (図 1-1)。ただしこれは英文のうえ細かいので普通の日本人には読解が難しい。幸いにして、環境省がこの抄訳を作成して公表しているのので、そちらをご覧いただきたい (図 1-2)。

Table SPM.1 | Extreme weather and climate events: Global-scale assessment of recent observed changes, human contribution to the changes, and projected further changes for the early (2016–2035) and late (2081–2100) 21st century. Bold indicates where the AR5 (black) provides a revised* global-scale assessment from the SREX (blue) or AR4 (red). Projections for early 21st century were not provided in previous assessment reports. Projections in the AR5 are relative to the reference period of 1986–2005, and use the new Representative Concentration Pathway (RCP) scenarios (see Box SPM.1) unless otherwise specified. See the Glossary for definitions of extreme weather and climate events.

Phenomenon and direction of trend	Assessment that changes occurred (typically since 1950 unless otherwise indicated)	Assessment of a human contribution to observed changes	Likelihood of further changes	
			Early 21st century	Late 21st century
Warmer and/or fewer cold days and nights over most land areas	<i>Very likely</i> (2.6) <i>Very likely</i> <i>Very likely</i>	<i>Very likely</i> (10.6) <i>Likely</i> <i>Likely</i>	<i>Likely</i> (11.3)	<i>Virtually certain</i> (12.4) <i>Virtually certain</i> <i>Virtually certain</i>
Warmer and/or more frequent hot days and nights over most land areas	<i>Very likely</i> (2.6) <i>Very likely</i> <i>Very likely</i>	<i>Very likely</i> (10.6) <i>Likely</i> <i>Likely (nights only)</i>	<i>Likely</i> (11.3)	<i>Virtually certain</i> (12.4) <i>Virtually certain</i> <i>Virtually certain</i>
Warm spells/heat waves. Frequency and/or duration increases over most land areas	<i>Medium confidence</i> on a global scale <i>Likely</i> in large parts of Europe, Asia and Australia (2.6) <i>Medium confidence</i> in many (but not all) regions <i>Likely</i>	<i>Likely</i> ^a (10.6) Not formally assessed <i>More likely than not</i>	Not formally assessed ^b (11.3)	<i>Very likely</i> (12.4) <i>Very likely</i> <i>Very likely</i>
Heavy precipitation events. Increase in the frequency, intensity, and/or amount of heavy precipitation	<i>Likely</i> more land areas with increases than decreases ^c (2.6) <i>Likely</i> more land areas with increases than decreases <i>Likely</i> over most land areas	<i>Medium confidence</i> (7.6, 10.6) <i>Medium confidence</i> <i>More likely than not</i>	<i>Likely</i> over many land areas (11.3)	<i>Very likely</i> over most of the mid-latitude land masses and over wet tropical regions (12.4) <i>Likely</i> over many areas <i>Very likely</i> over most land areas
Increases in intensity and/or duration of drought	<i>Low confidence</i> on a global scale <i>Likely</i> changes in some regions ^d (2.6) <i>Medium confidence</i> in some regions <i>Likely</i> in many regions, since 1970 ^e	<i>Low confidence</i> (10.6) <i>Medium confidence</i> ^f <i>More likely than not</i>	<i>Low confidences</i> (11.3)	<i>Likely (medium confidence)</i> on a regional to global scale ^g (12.4) <i>Medium confidence</i> in some regions <i>Likely</i> ^h
Increases in intense tropical cyclone activity	<i>Low confidence</i> in long term (centennial) changes <i>Virtually certain</i> in North Atlantic since 1970 (2.6) <i>Low confidence</i> <i>Likely</i> in some regions, since 1970	<i>Low confidence</i> ⁱ (10.6) <i>Low confidence</i> <i>More likely than not</i>	<i>Low confidence</i> (11.3)	<i>More likely than not</i> in the Western North Pacific and North Atlantic ^j (14.6) <i>More likely than not</i> in some basins <i>Likely</i>
Increased incidence and/or magnitude of extreme high sea level	<i>Likely</i> (since 1970) (3.7) <i>Likely</i> (late 20th century) <i>Likely</i>	<i>Likely</i> ^k (3.7) <i>Likely</i> ^k <i>More likely than not</i> ^k	<i>Likely</i> ^l (13.7)	<i>Very likely</i> ^m (13.7) <i>Very likely</i> ⁿ <i>Likely</i>

図 1-1 IPCC 第五次評価報告書 政策決定者向け要約 ページ 7 表 1 (2013 年)⁸

⁷ IPCC 第 5 次評価第 1 部会報告書 <https://archive.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> (以下、IPCC 2013) p217

⁸ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf

表. 気象及び気候の極端現象

現象及び傾向	生じた変化の評価 (特記ない限り1950年以降の典型)	人為的影響の可能性
干ばつの強度や持続期間の増加	世界規模で確信度が低い。いくつかの地域で変化した可能性が高い	確信度が低い
強い熱帯低気圧の活動度の増加	長期(百年規模)変化の確信度が低い。1970年以降北大西洋でほぼ確実	確信度が低い
極端に高い潮位の発生や高さの増加	可能性が高い(1970年以降)	可能性が高い

図 1-2 環境省資料 IPCC 第 5 次評価報告書の概要 -WG1(自然科学的根拠)⁹ p28

これを見ると、「強い熱帯低気圧 (= 台風のこと) の活動度の増加」は、長期 (百年規模変化) の「確信度が低い (= つまり、変化は観測されていない)」、人為的影響の可能性 (= 人間が排出した CO2 等の影響かどうか) についても、「確信度が低い (= つまり、CO2 等の影響とは認められない)」、としている。

他方で、「生じた変化の評価」として、「強い熱帯低気圧の活動度の増加」は、「1970 年以降北太平洋でほぼ確実」としているが、これについても「人為的影響の可能性」は「確信度が低い」となっている。これは、「大西洋数十年規模振動 (Atlantic Multi-decadal Oscillation, AMO)」による自然現象なので、人為的影響ではないからだ (図 1-3)。

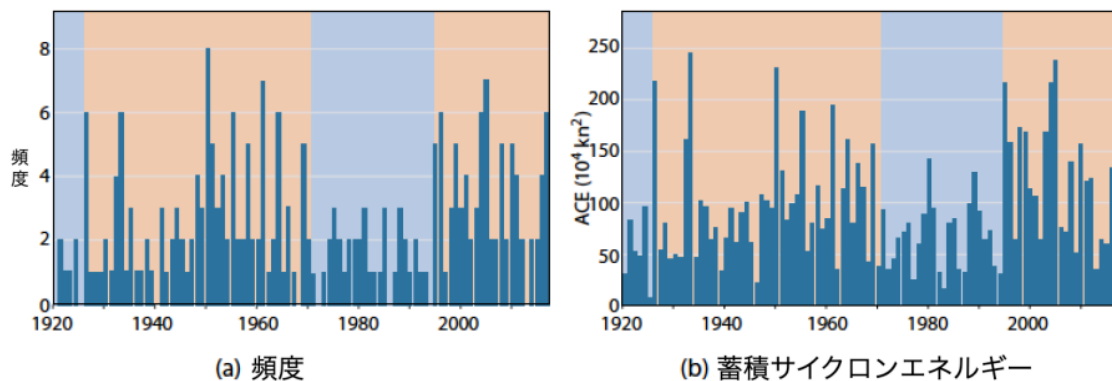


図 1-3 1920 年以來の大西洋ハリケーン活動観測値。AMO 温暖フェーズはオレンジ背景、寒冷フェーズは青い背景。(詳しい邦文での解説は Curry 2019)¹⁰

⁹ https://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5_wg1_overview_presentation.pdf

¹⁰ <http://ieei.or.jp/wp-content/uploads/2019/10/Curry-Japanese.pdf>

米国のハリケーンの統計で確認

上記で述べたことを統計で確認しよう。米国本土に上陸したハリケーン数には明確なトレンドはない。これは全ハリケーンで見ても、「カテゴリー4」以上に分類される大型ハリケーンに限ってみても同じだ（図 1-4）。

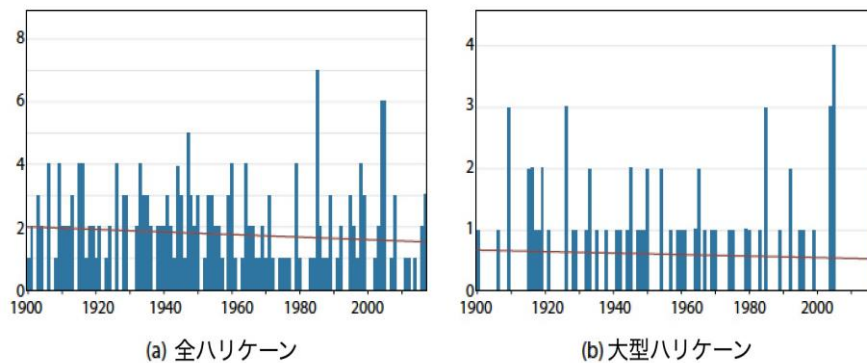


図 1-4 アメリカ本土上陸ハリケーン、1900-2017 ¹¹ 赤線はこの期間のトレンド。ただしどちらも統計的に有意ではない。

そして、強力なハリケーンのランキングを見ても、近年になって強い台風が頻発するようになった訳では無いことが解る。図 1-5 は米国上陸ハリケーンの上陸時風速の史上トップ 13 件だが、マイケル（2018 年）、チャーリー（2004 年）以外は全て 20 世紀のものだ。

名称	年	上陸時風速 (mph)
レイバーデイ	1935	184
カミーユ	1969	173
アンドリュー	1992	167
マイケル	2018	160
ラストアイランド	1856	150
インディアノラ	1886	150
フロリダキーズ	1919	150
フリーポート	1932	150
チャーリー	2004	150
グレートマイアミ	1926	144
オキーチヨビー湖	1928	144
ドナ	1960	144
カーラ	1961	144

図 1-5 米国上陸ハリケーンの史上トップ 13 件。

¹¹ <http://ieei.or.jp/wp-content/uploads/2019/10/Curry-Japanese.pdf>

日本の統計で確認

これはじつは日本でも同じで、近年は強い台風が来なくなった。図 1-6 は日本上陸時の台風を中心気圧のランキングである。1970 年ごろまでは強力台風が頻々と上陸した。特に昭和の三大台風（伊勢湾台風・室戸台風・枕崎台風）は、大きな被害を出した。対照的に、1993 年以來、このランキングに入る強力台風が無い。

中心気圧が低い台風（統計期間：1951年～2019年第12号まで）

上陸時（直前）の中心気圧が低い台風

順位	台風番号	上陸時気圧 (hPa)	上陸日時	上陸場所 *1
1	6118 *2	925	1961年9月16日09時過ぎ	高知県室戸岬の西
2	5915 *3	929	1959年9月26日18時頃	和歌山県潮岬の西
3	9313	930	1993年9月3日16時前	鹿児島県薩摩半島南部
4	5115	935	1951年10月14日19時頃	鹿児島県串木野市付近
5	9119	940	1991年9月27日16時過ぎ	長崎県佐世保市の南
	7123	940	1971年8月29日23時半頃	鹿児島県大隅半島
	6523	940	1965年9月10日08時頃	高知県安芸市付近
	6420	940	1964年9月24日17時頃	鹿児島県佐多岬付近
	5522	940	1955年9月29日22時頃	鹿児島県薩摩半島
	5405	940	1954年8月18日02時頃	鹿児島県西部

*1：当時の市町村名等で示す

*2：第二室戸台風

*3：伊勢湾台風

参考記録：（※統計開始以前のため）

室戸台風 911.6hPa 1934年9月21日（室戸岬における観測値）

枕崎台風 916.1hPa 1945年9月17日（枕崎における観測値）

図 1-6 日本の強力台風ランキング。データ：気象庁¹²

地球温暖化よりも油断こそが大敵

なぜ日本に強力台風が来なくなったのか、理由は定かではない。おそらく何等かの自然変動であろう。だとすると、また強力台風が来る日が、地球温暖化の有無にかかわらず、きつとやってくる。だが長い間強力台風が来なかったが故に、防災に緩みが生じている懸念がある。だとすると日本は大きな被害に見舞われる可能性がある。油断大敵、である。

¹² https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/statistics/ranking/air_pressure.html

同様の「油断大敵」への懸念は、米国についても指摘されている。強い台風が来ない間に、フロリダなどの海岸沿いに豪華なリゾートが建設されたりしたが、これらは以前のような強いハリケーンが再び来るようになると災害に遭う危険が高い、と警告されている。¹³

2 豪雨は増えてない¹⁴

要約

地球温暖化で豪雨が増えた、とよくメディアで言われるが、本当だろうか。根拠となっている「気象庁レポート」を検証してみると、確かに近年に豪雨は多いが、この原因は地球温暖化と特定できず、長期的な自然変動の一部かもしれないことが分かる。また地球温暖化が水蒸気量を増やし豪雨につながるという因果関係についても、可能性はあるが「更に詳細な調査が必要」とされており、決着はついていないことも分かる。なお、近年の豪雨が多い理由には、都市化の影響と、観測誤差の可能性も指摘されている。

気象庁レポートの「はじめに」は、いかにも「地球温暖化が原因で豪雨が強くなった」かの様に読めるが..

地球温暖化で集中豪雨が増えた、とよくメディアで言われる。特によく引き合いに出されたものとして、例えば「平成 30 年 7 月豪雨」がある。これに関して、「気象庁レポート」の内容を検証してみよう。¹⁵

気象庁レポートの「はじめに」では、以下のように述べている。

「平成 30 年（2018 年）は、…我が国でも、西日本から東海地方を中心に広い範囲で数日間大雨が続き（平成 30 年 7 月豪雨）、全国の降水量の総和は、昭和 57 年（1982 年）以降の豪雨災害時の降水量の中で最も多い値となりました... このような極端な気象・気候現象の長期的な増加傾向には、地球温暖化の影響があると考えられ、気象庁で昨年 8 月に開催した「異常気象分析検討会」においても、昨年夏の…豪雨の背景に地球温暖化の影響

¹³ <http://ieei.or.jp/wp-content/uploads/2019/10/Curry-Japanese.pdf>

¹⁴ 初出 拙稿 温暖化で豪雨は増えたのか

<http://ieei.or.jp/author/sugiyama-taishi/> ;

政府報告書「日本の気候変動とその影響」の問題点

<http://ieei.or.jp/2019/05/sugiyama190515/>

¹⁵ なおこのレポートは下記検討会を下敷きにして、となっているが、内容はほぼ同じである：

気象庁異常気象分析検討会 「平成 30 年 7 月豪雨」及び 7 月中旬以降の記録的な高温の特徴と要因について

<https://www.jma.go.jp/jma/press/1808/10c/h30goukouon20180810.pdf>

があったという見解を公表しました。… このような地球温暖化による気候変動への対応は喫緊の課題…」

ここで引っかかるのは「地球温暖化の影響があると考えられ」という文言である。これは随分と問題のある文言である。

というのは、多くのメディアや関係者が、「地球温暖化が原因で豪雨が起きた」、と読んでしまうからである。

じつは、詳しく後述するように、因果関係は全然決着していない。「気象庁レポート」の内容を検証してみると、温暖化が影響した可能性は示唆されているものの、「更に詳細な調査が必要」とはっきり述べている。

「はじめに」を書いた側としては、ほんの僅かだけ豪雨が強くなっても「影響」であるし、「考えられ」とあるので、単に仮説にすぎないかもしれないことを言うただけだ、と言い逃れることは出来る。ただそうは言っても、メディアにわざわざ誤解させるような書きぶりには大いに問題がある。

もっと不適切なのは、因果関係について「更に詳細な調査が必要」であるにも関わらず、「地球温暖化による気候変動への対応は喫緊の課題」と言っている点である。これはいったいいかなる論理で導かれるのか。政治的な意見であって、科学とは無縁である。このレポートは科学的に中立であるべきであるところ、それを逸脱している。

「気象庁レポート」の内容を検証する

では「気象庁レポート」が何を言っているか、その内容を見てみよう。

冒頭の「平成 30 年 7 月豪雨」の特集では、日本では極端な大雨が強くなっている、としている (図 1-7) :

「日本では、1~3 日間にわたって降り続く極端な大雨の強さが、長期的には増大する傾向がみられている。図 I. 1-5(筆者注:本稿では図 1-7) は、アメダス地点の年最大 24 時間、48 時間及び 72 時間降水量の基準値 (1981 ~2010 年の 30 年平均値) に対する比である。これをみると、1976~2018 年において、年最大 24 時間及び 48 時間降水量はそれぞれ 10 年あたり 3.7%、3.9%の割合で上昇 (信頼度水準 95%で統計的に有意)、年最大 72 時間降水量は 10 年あたり 3.6%の割合で上昇している (信頼度水準 90%で統計的に有意)。すなわち、日本においてこうした極端な大雨の強さは、過去 30 年で約 10%増加していると考えられる。」(気象庁レポート P3)

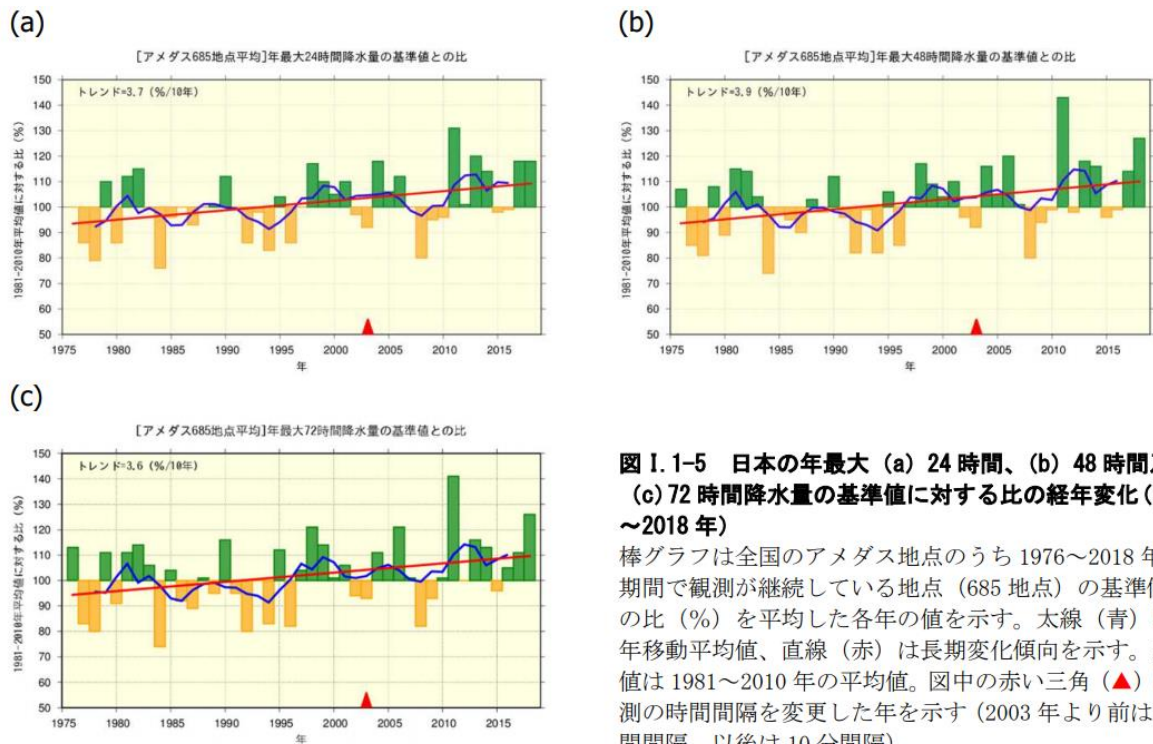


図 1.1-5 日本の年最大 (a) 24 時間、(b) 48 時間及び (c) 72 時間降水量の基準値に対する比の経年変化(1976～2018 年)

棒グラフは全国のアメダス地点のうち 1976～2018 年の期間で観測が継続している地点 (685 地点) の基準値との比 (%) を平均した各年の値を示す。太線 (青) は 5 年移動平均値、直線 (赤) は長期変化傾向を示す。基準値は 1981～2010 年の平均値。図中の赤い三角 (▲) は観測の時間間隔を変更した年を示す (2003 年より前は 1 時間間隔、以後は 10 分間隔)。

図 1-7 日本における大雨の日数、1976 年～2018 年 (気象庁レポート P3)

この図 1-7 とほぼ同じ図は、「政府報告書概要」にも掲載されている。

ここで注目すべきは、図 1-7 で、期間が 1976 年以降となっていることだ。じつは、このような短期的なデータでは、数十年規模の自然変動等の影響を受けるため、地球温暖化の影響であると断言できない。このことは、気象庁自身が、ホームページ上の「長期変化傾向 (トレンド) に関するよくある質問」のコーナーではっきり述べている¹⁶：

「Q：アメダスによる気温や降水量の長期変化傾向は、地球温暖化やヒートアイランド現象の影響によるものと言えますか？」

A：可能性はありますが、断言はできません。アメダスの統計期間のように数十年程度の期間で求めた長期変化傾向は、年ごとや数年から数十年の自然変動や、異常気象などの極端に大きい (小さい) 値の影響を強く受けることがあります。そのため、直ちに地球温暖化やヒートアイランド現象の影響によるものとは言えません。確実な評価を行うためには更にデータを蓄積する必要があります。」

¹⁶ https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/qa_trend.html

そして、気象庁レポートでも、P38 において、「大雨や短時間強雨の発生回数は年々変動が大きく、それに対してアメダスの観測期間は比較的短いことから、長期変化傾向を確実に捉えるためには今後のデータの蓄積が必要である」とはっきり書いてある。

そこで長期的なデータを探すと、気象庁レポート P37 に出ている、やはり大雨が増えている、としている（図 1-8）

「日降水量 100 mm 以上、200 mm 以上及び 1.0 mm 以上の年間日数 日降水量 100 mm 以上及び日降水量 200 mm 以上の日数は、1901～2018 年の 118 年間でともに増加している（それぞれ信頼度水準 99%で統計的に有意）（図 2.2-4 筆者注：本稿では図 1-8）。一方、日降水量 1.0 mm 以上の日数は減少し（信頼度水準 99%で統計的に有意）、大雨の頻度が増える反面、弱い降水も含めた降水の日数は減少する特徴を示している。」（気象庁レポート P37）

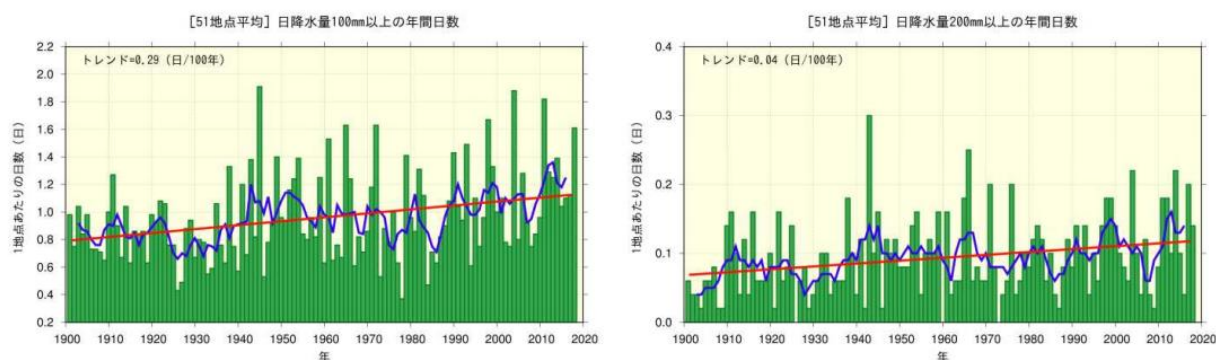


図 2.2-4 日降水量 100 mm 以上（左図）及び 200 mm 以上（右図）の年間日数の経年変化（1901～2018 年）
 棒グラフ（緑）は各年の年間日数の合計を有効地点数の合計で割った値（1 地点あたりの年間日数）を示す。太線（青）は 5 年移動平均値、直線（赤）は長期変化傾向（この期間の平均的な変化傾向）を示す。

図 1-8 日本における大雨の日数、1901 年～2018 年（気象庁レポート P37）

さてここで、じっと目を凝らして図 1-8 を見てほしい。たしかに全体としては右肩上がりだが、よく見ると、1901-1940 年までは低く、1940-1970 年までは高く、1970-1990 年は低く、1990-2018 年は高い、というように振動しているようにも見える。特に、1940-1970 年ごろは、最近とあまり変わらないぐらい大雨の日数が多い年があったように見える。（ちなみにこのころには、前述したように、近年では見ないような強力な台風が日本に頻繁に上陸していた。）

1940-1970 年のころは、まだ人間の CO2 排出は少なかったから、この期間の大雨日数の増加は CO2 排出によるものではない。だとすると、近年の大雨の増加も、CO2 排出によるものとは限らないのではないかと？ あるいは仮に CO2 排出の寄与があったとしても、それ以外の理由による変動も大きかったのではないかと？

水蒸気量が増えている？

「気象庁レポート」では、豪雨が強くなっている理由として、地球温暖化によって、大気中の水蒸気量が増えた可能性を挙げている（図 1-9）：

「その背景要因として、地球温暖化による気温の長期的な上昇傾向とともに、大気中の水蒸気量も長期的に増加傾向にあることが考えられる。気温と水蒸気量の関係については、気温が 1℃上昇すると、飽和水蒸気量が 7%程度増加することが広く知られている。例えば夏季（6～8 月）の日本国内の 13 高層気象観測地点における 850hPa 比湿の基準値（1981～2010 年の 30 年平均値）に対する比は、10 年あたり 2.7%の割合で上昇しており（信頼度水準 99%で統計的に有意）、過去 30 年で約 8%増加していると考えられる（図 I. 1-6 筆者注：本稿では図 1-9）。更に詳細な調査が必要であるが、今回の豪雨には、地球温暖化に伴う水蒸気量の増加の寄与もあった可能性がある。」（レポート P4）

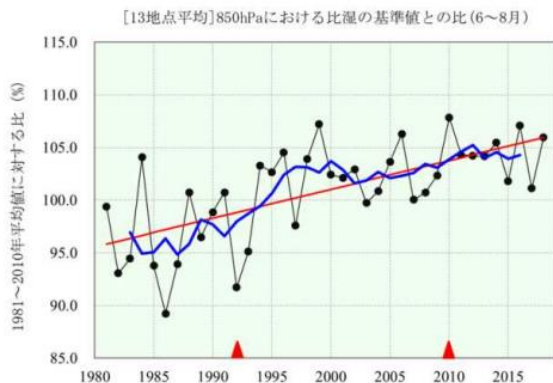


図 I. 1-6 日本の 6～8 月で平均した 850hPa 比湿の基準値に対する比の経年変化 (1981～2018 年)
国内 13 高層気象観測地点¹⁾における観測データに基づく。細線 (黒) は各年の基準値との比 (%)、太線 (青) は 5 年移動平均値、直線 (赤) は長期変化傾向 (信頼度水準 99%で統計的に有意) を示す。基準値は 1981～2010 年の平均値。図中の 2 つの赤い三角 (▲) で挟まれた期間では測器の変更の影響により、相対的にやや値が高めになっている可能性がある。

図 1-9 大気中の水蒸気量の変化 (レポート P4)

なお 850hPa とあるのは高度 1300m～1600m 程度のことである。¹⁷

図 1-9 も、期間は 1980 年以降に限られている。水蒸気量は、1940-1970 年ごろにはどうだったのか、「気象庁レポート」に掲載は無い。だがいまと同じくらい豪雨が多かったのだから、水蒸気量も多かったのではなかろうか？ だとすると、この水蒸気量の変動も、地球温暖化ではなく、自然変動の可能性はある。

なお「気象庁レポート」の説明で「気温と水蒸気量の関係については、気温が 1℃上昇すると、飽和水蒸気量が 7%程度増加することが広く知られている。」とある。これはいわゆるクラウジウス・クラペイロンの式と言われるもので、基礎的な化学法則である。ただ地球温

¹⁷ 例えばウィキペディア

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%AB%98%E5%B1%A4%E5%A4%A9%E6%B0%97%E5%9B%B3>

暖化が降水や豪雨の増加にどの程度つながるかは、水蒸気から雲が形成され雨となる複雑なプロセスによるものであり、よく分かっていない。

再確認するが、気象庁レポート P3 では「更に詳細な調査が必要であるが、今回の豪雨には、地球温暖化に伴う水蒸気量の増加の寄与もあった可能性がある。」という慎重な言い回しになっている。決して地球温暖化のせいだとは断言していない。

都市化による豪雨

豪雨の推移を示す図 1-7、図 1-8 に関して、3 点ほど以下に補足しよう。まずは都市化の豪雨への影響である。

「気象庁レポート」では都市化の影響は無いものとしている：

「大都市の多くで降水量や大雨の有意な長期変化傾向は見られておらず、都市化の影響は確認できていない。」（気象庁レポート P36）

だが詳しいデータは示されておらず、議論の余地があるだろう。というのは、試算によっては、東京やその周辺では都市があることによって降水量が 1~2 割増えた、とするものがあるからだ¹⁸。都市化によって降水が増加するメカニズムとしては、①ヒートアイランドによって上昇気流が生じ、都市上空へ水蒸気が入りこみ、雲が発達すること、更には、②高層建築物が障壁になって上昇気流を作り出し雲ができること、等が指摘されている。

雨量計測の誤差

次に、計測の誤差である。図 1-8 に関して、雨量観測の装置が時代によって変更されてきたので、1970 年以前の降水量は少なめに観測されている、との指摘がある。本当に豪雨が増えたか否かは、この効果も合わせて検討する必要がある：

「昔の雨量計は雨量小屋の上に取り付けられ、記録装置は小屋の中に置かれていた。受水口に入る降水粒子の捕集率は風速によって変化し、強風時の降水量は少なめに観測される。特に降雪の場合の捕集率は風速とともに急激に小さくなる…雨量計受水口が小屋の上に設置されていた 1970 年代以前の降水量は少なめに観測されたことになる。」¹⁹

¹⁸ (藤部文昭, 2012); 分かり易い記事 <https://gendai.ismedia.jp/articles/-/57579?page=3>

¹⁹ 近藤純正ホームページ K48. 日本の都市における熱汚染量の経年変化
<http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/kenkyu/ke48.html>

中国では悪天候は減少した²⁰

以上は日本の話であったが、海外ではどうか。地球規模での豪雨の傾向について、IPCCはそれほどはっきりした結論を出していない。1900年以降の地球規模の観測においては、「強い温帯低気圧の活動は増えていない」としている²¹。大雨については「強くなった地域の方が弱くなった地域よりも多い可能性が高いが、地域差が大きい」としている²²。

ここで「地域差が大きい」というとき、日本はどのようなのだろうか。

気候が似ているお隣の中国の観測データを見てみよう。

Zhangらは、雷雨、強風、ひょうの50年間にわたる観測データを分析し、中国ではこれらの悪天候は減少してきた、とした(図1-10)。データとして用いたのは、中国の500か所における気象観測所のデータと、地球規模でデータを集め再分析(=統合的な分析のこと)をしている米国NCARのデータであり、どちらも同じ結果となった(Zhang, Ni, & Zhang, 2017)。

Sunらは、中国に影響を与えた台風の件数を分析した(図1-11)。その結果、台風の数は減少し、特に、強力な台風は顕著に減少してきた、とした(Sun, Ai, Song, & Wang, 2011)。

ZhangとSunの何れも、減少が起きた理由については、同定していない。Zhangは、モンスーンが弱くなったこと(図1-10(d))を合わせて示しており、これが関係しているのではないか、としている。

日本においても、昭和の三大台風のような強力台風は近年来なくなっており、Sunらの中国における報告と同じ傾向を示している。落雷、強風、ひょうのデータ、モンスーンの強度はどうなっているのか。日本でもやはり弱くなっているのだろうか。興味あるところだが、残念ながら「政府報告書」と「気象庁レポート」の何れも触れていない。

²⁰ 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/author/sugiyama-taishi/>

²¹ IPCC 2013 p220.

²² IPCC 2013 P213

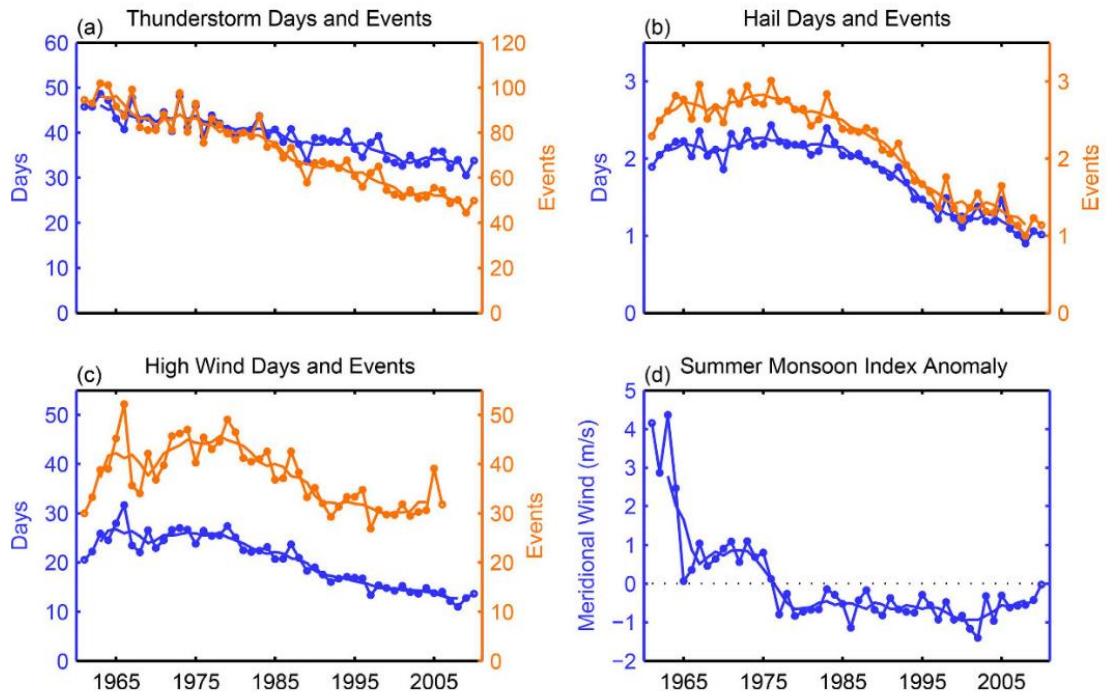
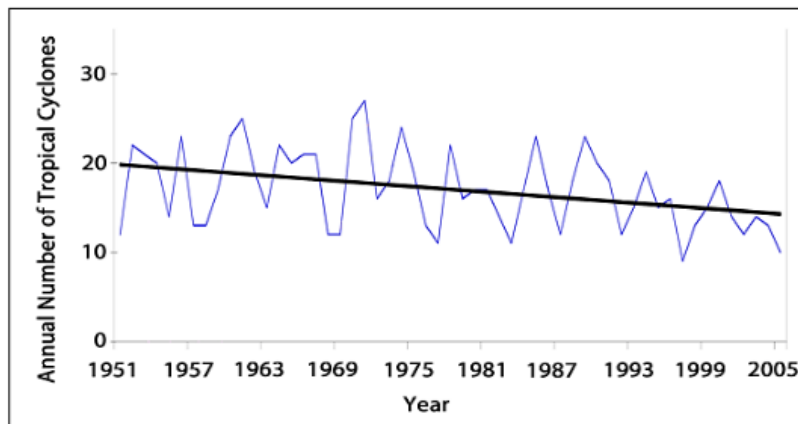


図 1-10 中国における異常気象の観測日数 (days, 青線) および件数 (events, オレンジ) :

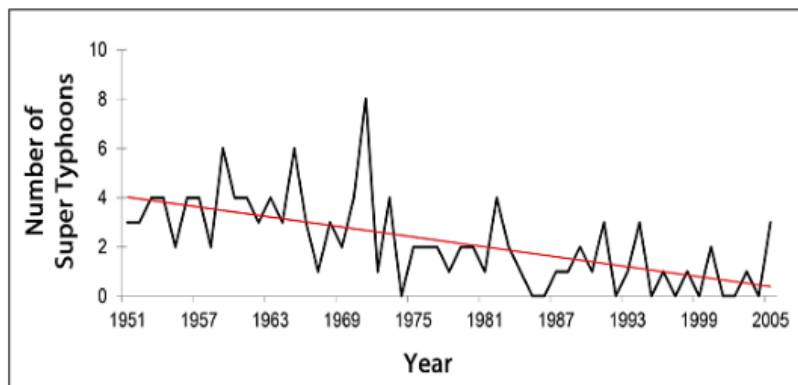
(a) 雷雨、(b)ひょう、(c) 強風。(d) はモンスーンの強さを示す指数。絶対値が大きいとモンスーンが強いことを示す。

(Zhang et al., 2017)

A. Annual number of typhoons



B. Annual number of super typhoons



(Sun et al., 2011)

図 1-11 中国に影響を与えた台風。A) 台風の数、B) 強力台風の数。

まとめ

「気象庁レポート」の「はじめに」を見ると、いかにも地球温暖化が原因で豪雨が増えたかのように書いてある。だが、これを明白に支持するデータは無い。

1976 年以降のデータで豪雨が増加傾向にあるのは確かだが、このような短期間では数十年規模の自然変動等の影響があるので、地球温暖化によるものだと断言できない。

「気象庁レポート」は 1901 年以降の長期間のデータでも豪雨は増加傾向にあったとしているが、単なる線形回帰式によるものであり、説得力に乏しい。1940-1970 年ごろにも豪雨は多かったことから、長期的な自然変動の影響も大きく、近年の豪雨の増加が地球温暖化によるかどうかは、「可能性がある」という程度に留まるのではないかと。

なお豪雨の増加トレンドには都市化の影響と雨量計測の誤差も寄与したかもしれないがこれは「気象庁レポート」では検討されていない。

3 猛暑は温暖化のせいではない²³

要約

猛暑になるたびに「地球温暖化の影響だ」とよくメディアで言われるが、本当だろうか。地球温暖化は起きたといってもごく緩やかなペースであり、30年間で0.2℃程度に過ぎない。40℃を超えるような猛暑の原因は主に自然変動であって、地球温暖化は体感不可能な程ごく僅かに寄与しているに過ぎない。

気象庁レポートの「はじめに」は、いかにも「地球温暖化が原因で異常高温が起きた」かの様に読めるが..

地球温暖化で猛暑が増えた、とよくメディアで言われる。よく引き合いに出されたのが、例えば「2018年夏の記録的高温」である。これに関する「気象庁レポート」と「気象庁報道発表」の内容を検証しよう。

気象庁レポートでは、「はじめに」で、以下のように述べている。

「平成30年(2018年)は、... 東・西日本を中心に顕著な高温となり、東日本では7月及び夏(6~8月)の平均気温が統計開始以降で最も高くなりました。このような極端な気象・気候現象の長期的な増加傾向には、地球温暖化の影響があると考えられ、気象庁で昨年8月に開催した「異常気象分析検討会」においても、昨年夏の顕著な高温及び豪雨の背景に地球温暖化の影響があったという見解を公表しました。」

この「はじめに」に問題があることは豪雨の項で述べた通りである。以下では2018年夏の高温の「背景に地球温暖化の影響があったという見解」について詳しく見てみよう。

「気象庁レポート」と「気象庁報道発表」の記述

まずは記述を確認する。

「2018年夏は東・西日本を中心に気温がかなり高くなった。東日本の7月及び夏(6~8月)の平均気温はそれぞれ平年差+2.8℃、+1.7℃となり、それぞれ7月及び夏として1946年の統計開始以降で第1位の高温となった..」(気象庁レポート P4)

²³ 初出 拙稿 猛暑は地球温暖化のせいなのか? <http://ieei.or.jp/author/sugiyama-taishi/>; 政府報告書「日本の気候変動とその影響」の問題点 <http://ieei.or.jp/2019/05/sugiyama190515/>

「猛暑日や真夏日となる地点も多く、特に7月23日は埼玉県熊谷市で国内の統計開始以来最高となる41.1℃など、各地で40℃を超える気温が観測された」（気象庁報道発表 P10、図 1-12）。

また、このような高温をもたらされた要因としては、図 1-13 のように整理されている。

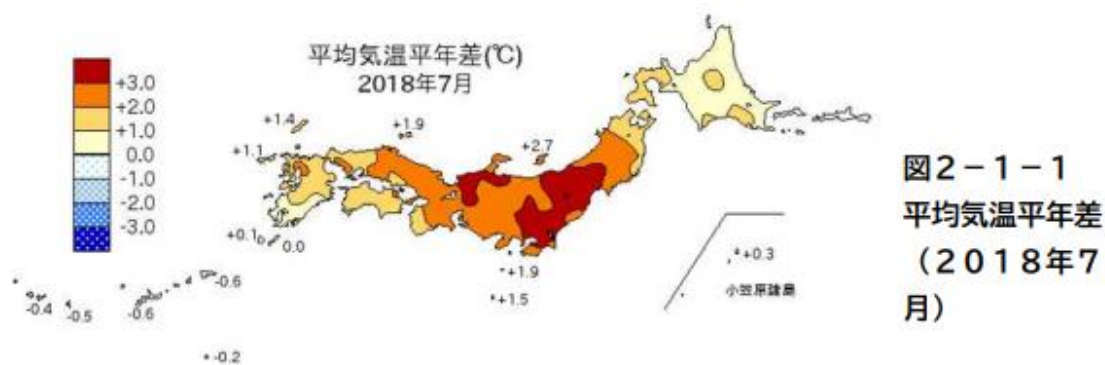


図2-1-1
平均気温平年差
(2018年7月)

図 1-12 平均気温平年差 (2018 年 7 月) (気象庁報道発表 P10)

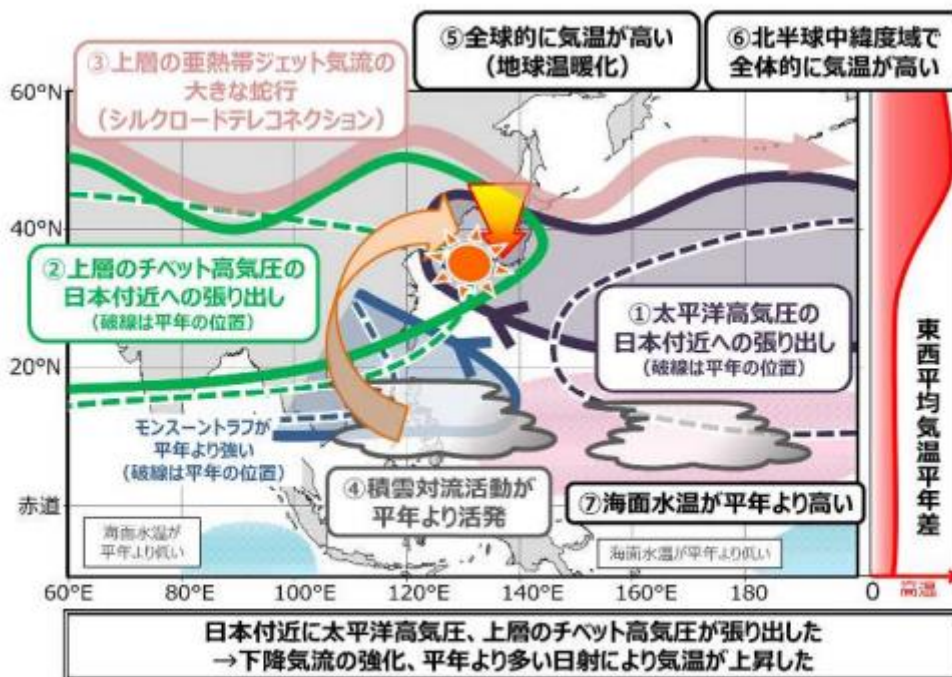


図2-2-1 7月中旬以降の記録的な高温をもたらした大規模な大気の流れ

図 1-13 2018 年 7 月の高温をもたらした要因 (気象庁報道発表 P12)

「気象庁レポート」と「気象庁報道発表」を検証する

図 1-13 にあるように、2018 年夏の高温には、複数の要因があり、地球温暖化はその要因の 1 つとして挙げられている。しかし、これ以上の詳しい説明は「気象庁レポート」にも「気象庁報道発表」にも無い。

では地球温暖化はどの程度寄与したのだろうか？

地球温暖化は、起きているといっても、ごく緩やかなペースである。日本においては、気象庁発表で 100 年あたり 1.1～1.2℃程度である。なお東北大学近藤純正名誉教授によれば、気象庁発表には都市化等の影響が混入していて、それを補正すると 100 年あたり 0.7℃程度であるとされる (図 1-14)。100 年あたり 0.7℃とすると、子供が大人になる 30 年間程度の期間であれば 0.2℃程度となる。0.2℃と云えば体感できるような温度差ではない。

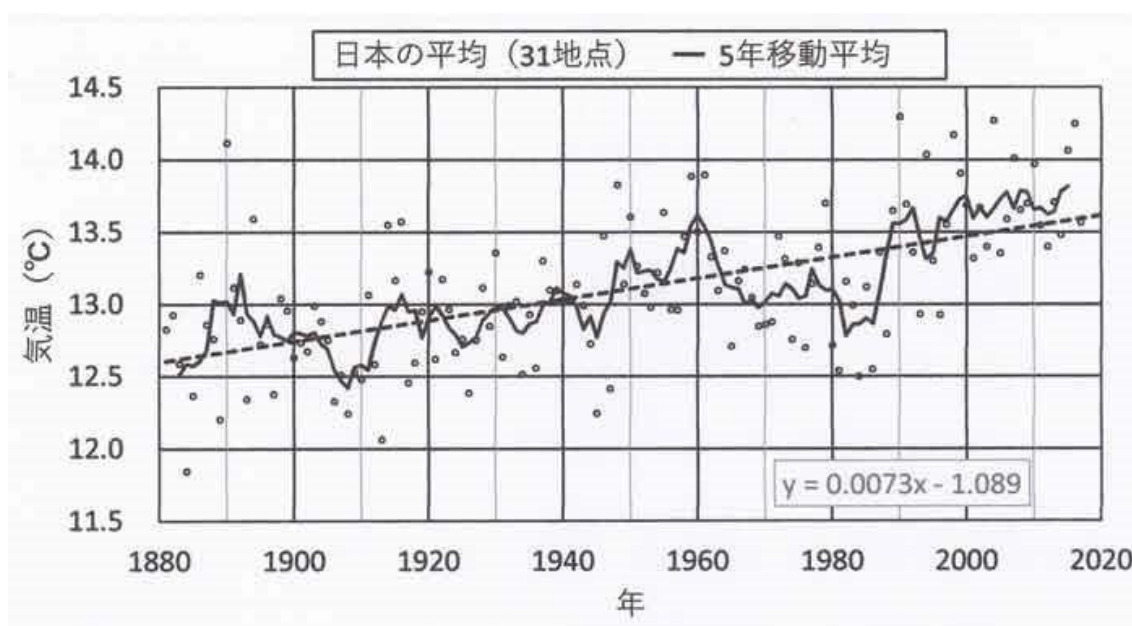


図 1-14 1881 年～2017 年の日本平均のバックグラウンド気温 (都市化等の影響を除き補正したもの) の経年変化、1881 年～2017 年 (137 年間)。²⁴

²⁴平易な解説は

<http://ieei.or.jp/2019/09/sugiyama190930/>

専門的な解説は

K173. 日本の地球温暖化量、再評価 2018 近藤純正ホームページ

<http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/kenkyu/ke173.html>

「気象庁報道発表」には「熊谷で最高気温が 41.1℃になった」とある。ではこれへの地球温暖化の寄与はいかほどか？ もし過去 30 年間に地球温暖化が無ければ 40.9℃であった、ということだ。40℃を超えるような猛暑の原因は主に自然変動であって、地球温暖化はごく僅かにその温度を上げているに過ぎない。

平均気温についても同じようなことが言える。「気象庁レポート」では東日本の 7 月の平均気温が平年より 2.8℃高かった、としている。これも、もし過去 30 年間に地球温暖化が無ければ 2.6℃高かった、ということだ。猛暑であることに変わりはない。

図 1-14 を見ると、年々の気温変動の幅はかなり大きいことが分かる。これはなぜ起きるのか？ エルニーニョなどの地球規模の振動や、それに伴う気圧配置の変化、ジェット気流の蛇行等の影響による。図 1-15 は、2019 年の地表の気温を、それ以前の過去 10 年の平均と比較したものである。この年は、弱いエルニーニョがあつて、全般としての気温はやや高くなったので、高い温度を示す緑色の領域がやや多いはずである。特に、欧州、日本、オーストラリア、アラスカでは緑色が卓越していて、これらの地域は 2019 年は暑かったことが分かる（それで、地球温暖化のせいだ、と随分騒がれた）。だが他方で、アメリカ、インドネシア、北アフリカなどは寒かったことが分かる（こちらの方は、全然騒がれなかった）。

このように、猛暑が欧州や日本で観測されたといっても、それは地球全体が暑くなったことを意味するものではない。気圧配置の変化やジェット気流の蛇行具合など、大規模な大気の流れの変化によって、南方の熱い空気が北方に運ばれて、北方が猛暑に見舞われたり、あるいは逆に、北方の寒気が南方に運ばれて、南方が酷寒に見舞われたりする。われわれが日常的に体感している「異常な暑さ」や「異常な寒さ」というのは、このような気象の現象である。これは、図 1-15 から分かるように、年平均気温にして 2℃程度のプラス・マイナスを地球各地で引き起こす。毎年のように 2℃程度は上下するのだから、地球温暖化による温度上昇が 30 年間で 0.2℃程度であるのとは桁違いの変化である。

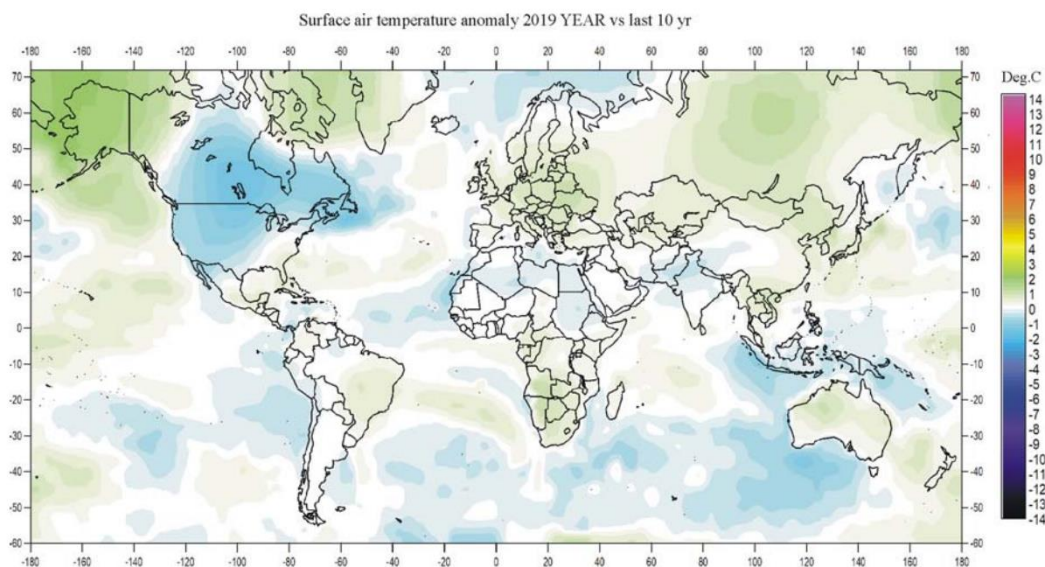


Figure 1: 2019 surface air temperatures compared to the average for the previous 10 years. Green-yellow-red colours indicate areas with higher temperature than the average, while blue colours indicate lower than average temperatures. Data source: Goddard Institute for Space Studies (GISS) using Hadl_Reyn_v2 ocean surface temperatures, and GHCNv4 land surface temperatures.

図 1-15 2019 年の地表の気温。過去 10 年との比較。(Humlum, 2019)

以上は、地球規模ないし日本規模の年平均気温変動の話であったが、日本の中での地域によってもそれぞれ異なる気温変動がある。更に、局所的にも、30 年も経てば、気温を上げる要因は沢山ある。都市化することで、アスファルトやコンクリートが増えると、1℃ぐらいはすぐ暑くなる。家などが建て込むことで風が遮られても 1℃ぐらいは上がる（ひだまり効果という）²⁵。水田が無くなるとその周辺では 1℃ぐらいは暑くなる²⁶。地球温暖化で 0.2℃上昇するという影響は、このような局所的な気温変化によってもかき消されてしまう。熊谷などで、人々が「猛暑」を感じているとしたら、その殆どは、以上のような地球温暖化以外の要因による暑さだ。

つまり「猛暑の原因が地球温暖化である」という言説には無理がある。地球温暖化は猛暑の原因の「ごく一部」に過ぎない。

都市熱の方が地球温暖化より大きい

都市化による温度上昇が大きい、と述べたが、データで確認しよう。日本で温度上昇が起きてきたのは確かである。

²⁵ 拙稿、<http://ieei.or.jp/2019/09/sugiyama190930/>

²⁶ 堅田、水田の減少は、日本の気温を上昇させている？ <http://ieei.or.jp/2019/12/opinion191202/>

気象庁レポート p33 を見ると、過去 100 年において、東京の 3.2℃を筆頭に、日本の大都市は軒並み 3℃前後の温度上昇があったとされている（表 1-1、図 1-16）

表 1-1 大都市における気温の変化率

表 2.1-2 大都市における気温の変化率

1927～2018¹⁷年の観測値から算出した、大都市における変化率（100 年あたり）及び都市化の影響が比較的小さいとみられる 15 観測地点（表 2.1-1 参照）の平均変化率を示す。斜体字は信頼度水準 90%以上で統計的に有意な変化傾向が見られないことを意味する。※を付した 5 地点と 15 観測地点のうちの飯田、宮崎は、統計期間内に観測露場の移転の影響があったため、気温の変化率については移転に伴う影響を補正してから算出している。

観測地点	気温変化率 (°C/100 年)														
	平均気温					日最高気温					日最低気温				
	年	冬	春	夏	秋	年	冬	春	夏	秋	年	冬	春	夏	秋
札幌	2.6	3.3	2.8	1.7	2.4	0.9	1.5	1.5	0.5	0.4	4.4	5.6	4.6	3.2	4.1
仙台	2.4	2.9	2.8	1.4	2.4	1.2	1.6	1.7	0.9	0.9	3.1	3.6	3.8	2.0	3.2
新潟※	2.0	2.2	2.6	1.4	1.8	1.9	2.6	2.7	0.8	1.6	2.2	2.3	2.7	1.8	1.8
東京※	3.2	4.2	3.3	2.1	3.3	1.8	2.0	2.1	1.4	1.7	4.4	5.8	4.6	2.9	4.3
横浜	2.8	3.4	3.1	1.8	2.8	2.5	2.7	2.9	1.8	2.4	3.4	4.5	3.7	2.2	3.4
名古屋	2.8	2.9	3.1	2.2	3.0	1.3	1.5	1.7	1.0	1.2	3.8	3.7	4.4	3.2	4.2
京都	2.7	2.5	3.0	2.3	2.7	1.1	0.8	1.7	1.1	0.8	3.7	3.6	4.1	3.2	3.9
大阪※	2.6	2.5	2.7	2.1	2.9	2.1	2.1	2.4	2.0	2.0	3.5	3.1	3.5	3.2	4.0
広島※	1.9	1.5	2.3	1.6	2.4	0.9	0.6	1.6	1.2	0.4	3.1	2.7	3.3	2.6	3.8
福岡	3.0	2.8	3.4	2.2	3.7	1.7	1.6	2.1	1.4	1.6	4.9	4.2	5.8	3.7	6.0
鹿児島※	2.5	2.4	2.8	2.0	2.8	1.2	1.1	1.6	1.1	1.3	3.9	3.5	4.4	3.3	4.6
15地点※	1.5	1.5	1.9	1.1	1.4	1.1	1.1	1.6	0.8	0.8	1.8	1.8	2.1	1.6	1.8

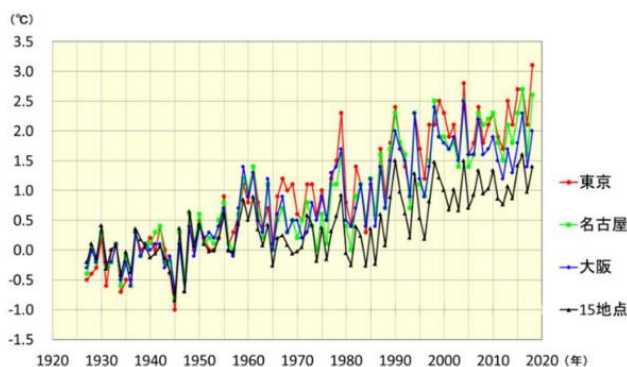


図 2.1-7 東京、名古屋、大阪と都市化の影響が比較的小さいとみられる 15 観測地点平均の年平均気温偏差の経年変化 (1927～2018 年)

年平均気温偏差は、1927～1956 年平均値からの差を表す（1927～1956 年における東京、名古屋、大阪の各平均値と 15 観測地点平均の平均値はそれぞれ 0 で一致する）。

図 1-16 年平均気温偏差の経年変化

このような高い温度上昇が観測されたのは、地球規模の温暖化が約 1°Cであったのに加えて、約 2°Cの都市熱の増加があったからである。これはヒートアイランド現象として知られる。

実は 2009 年版の「政府報告書」には、これに類似の図があった²⁷。

将来ありうる温暖化の環境影響を知る為には、過去の温暖化によってどのような環境影響が起きたかを知ることが決定的に重要である。だから、都市ごとの温度上昇がどうであったかという情報も、極めて重要である。しかしなぜか、今回の 2018 年版の「政府報告書」では都市熱が言及されていない。都市熱の方が地球温暖化より効果が大きいということは、温暖化脅威論者にとっては、出来れば隠してしまいたい、不都合な真実なのだろうか？

4 山火事は地球温暖化のせいではない²⁸

要約

山火事についても日本の自治体の「気候非常事態宣言」で言及されることがあるので、やや蛇足ながら、猛暑に関連する話題として取り上げておこう。

メディアでは、山火事が地球温暖化のせいできているという意見がよく聞かれるようになった。だがじつは、山火事の主な原因は森林管理の失敗である。地球温暖化との関係ははっきりしていない。

山火事は自然の一部だ

山火事についてまず理解すべきことは、それが自然の一部だということだ。日本では秋になると葉が落ちて、春になると草木が芽吹く、というサイクルがある。これと同じように、乾燥した地域では、植物が育つと、山火事が起こり、その後でまた草木が芽吹く、というサイクルがある。

様々な草木が山火事後で芽吹く中で、筆者のお気に入りにはアミガサダケ（ポルチーニ）だ。フランス料理でソースに絡めて食べると絶品。料理研究家マイケル・ポーランの本によると、これが山火事後に大量に発生するため、山火事のニュースを聞くと車を飛ばして駆け付けるグルメが居るそうだ。

山火事のおかげで生息する生物が多いことから、米国のイエローストーン自然公園では、山火事を人が消すことは「不自然である」として止めてしまった。筆者も見に行ったが、本当に、焼け跡がそこかしこにある。知らない人は痛々しく思うようだが、これが自然の本来の姿なのだ。²⁹

²⁷ <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/rep091009/full.pdf>

²⁸ 初出 拙稿 山火事は地球温暖化のせいなのか？ <http://ieei.or.jp/2020/03/sugiyama200325/>

²⁹ 拙稿、「山火事が保全するイエローストーンの大自然」

山火事は人間が管理するものだ

だがいくらそれが自然の姿だといっても、山火事が頻発するようでは生活に支障を来すので、人間は山火事を管理するようになった。具体的には、

- ① 森林の一部を帯状に切った防火帯を作る
- ② 火の不始末をしないこと（火の用心！）
- ③ 定期的に伐採ないし火入れをする

等である。このうち①②は皆さんご存じと思うが、実は③も重要である。要は、時間の経過とともに植物が繁茂すると、山に燃料が溜まってゆくことになるので、山火事が起きた時に大規模に燃えてしまう。そうならないためには、時々、草木を切り出したり、燃やしたりしてやらねばならない。

イエローストーン自然公園は思い切りよく③を（完全では無いが）拒否して山火事に任せているわけだ。他方で、日本中の森林では、①②③を全て実施して、山火事が起きないように管理している（じつは③は近年あまり出来ていないが、幸いにして日本は湿潤なので、大規模な山火事は滅多に起きない）。

山火事は増えているのか、山火事の理由は何か

17世紀以来、今が山火事の多い時期かと言え、そうではない。19世紀末以降、人間が自然に介入し、山火事が起きないようにしたことで、アメリカの山火事の件数はかつてに比べて激減した（図 1-17）。

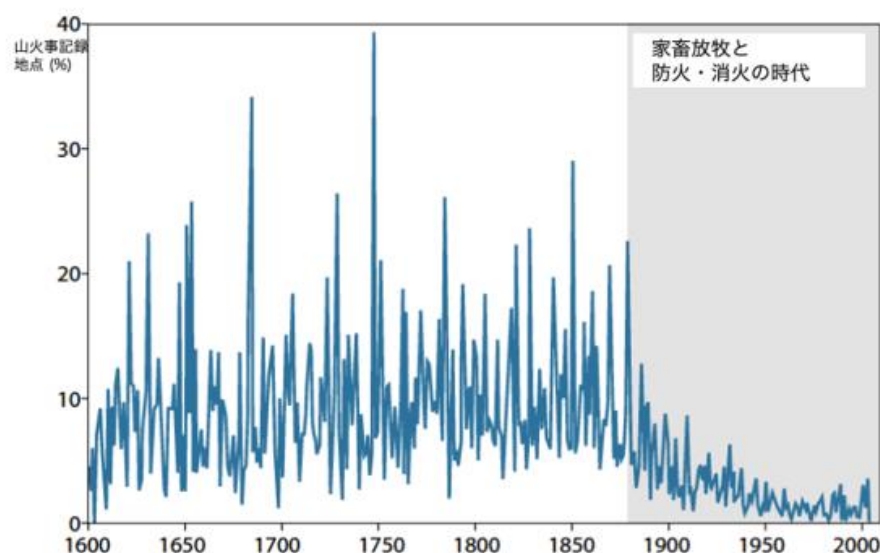


図 1-17 北アメリカにおける火災の発生。³⁰

北アメリカ西部 800 地点以上における火災発生の統合記録。Curry (2019)

近年を見ると、1980 年以降、確かに山火事は増加している（図 1-18）。これは地球温暖化の傾向と重なっている、地球温暖化のせいだと短絡的に結論する人が多い。だが、この相関関係は、因果関係とは限らない。

山火事が増えた原因は、幾つか挙げられている：³¹

- ・長年に渡って山火事を抑制したため、山に燃料が増えてしまった。
- ・木材利用が衰退し、山に燃料が増えてしまった。
- ・環境保護名目で山の利用を規制した結果、山に燃料が増えてしまった。
- ・人の居住地が山に拡大して、火災が増えた

もちろん、早魃になれば、山火事は起きやすくなる。しかし、これは山火事の根本的な要因ではない。根本的な要因は、上記の 4 つだ。

近年、米国の一部で、乾燥して暑い日々が続いたことは確かである。しかし、これと地球温暖化との因果関係はよく分かっていない。IPCC の第 5 次評価報告書(2013 年)では、その政策決定者向け要約の 7 ページの表 1 において、早魃の強度・期間が増えたか否か、「世界規模では確信度は低い (=分からない、ということ)」「地域的には、地中海及び西アフリカ

³⁰ <http://ieei.or.jp/wp-content/uploads/2019/10/Curry-Japanese.pdf>

³¹ <https://thebreakthrough.org/issues/energy/wildfire-causes>

では増加した可能性が高く、北米中部及び北西オーストラリアでは減少した可能性が高い」としている。³²

他方で、歴史的には、いまカリフォルニアで起きているよりも強烈な旱魃が、地球温暖化とは関係のない自然変動として起きた。ここで言う自然変動とは、エルニーニョ現象や、それに類似した北大西洋振動などの、数十年規模に亘る気候の変化のことである。

第4次全米気候評価報告NCA4(2019年)は、以下のように述べている：

「近年の旱魃やそれに伴う熱波は、アメリカの一部では記録的な強度に達した。しかし歴史的には、1930年代のダストボウル時代こそが、干ばつや極端な熱波の最高記録水準であり続けている」³³

ダストボウルとは、米国を襲った恐ろしい気候変動だった。この時期にアメリカでは山火事が頻発した(図1-18)。畑は荒廃し、砂嵐が村を襲い(図1-19)、農民は流民となった。

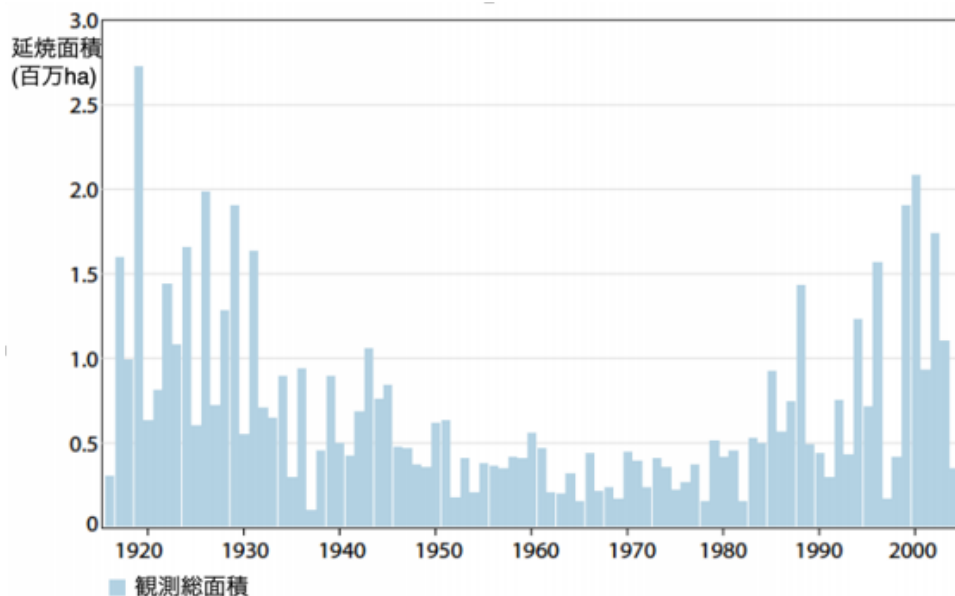


図 1-18 アメリカの山火事。1916年～1930年ごろにかけて頻発している。

アメリカ西部11州の山火事延焼面積(WFAB)時系列観測値(Curry 2019)³⁴

³² https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf

³³ <https://www.globalchange.gov/nca4> ; <http://ieei.or.jp/wp-content/uploads/2019/10/Curry-Japanese.pdf>

³⁴ <http://ieei.or.jp/wp-content/uploads/2019/10/Curry-Japanese.pdf>



図 1-19 「ダストボウル」時代の米国の恐ろしい砂嵐。カンザス州 1935 年。米国政府資料

35

世界の燃焼面積は 25% も減った

話を米国から世界に移す。NASA のデータによると、2003 年から 2015 年にかけて、世界の燃焼面積は 25% も減った（図 1-20）。最大の理由は、人間が、肥料や農業機械を利用して生産性の高い農業を行うようになり、焼き畑や火入れ等の形で火を利用することが減ったためである。³⁶

北米カリフォルニアのように山火事が増えている地域もあるが、世界全体では、燃焼面積はむしろ減っているのだ。

³⁵ <https://www.photolib.noaa.gov/Collections/National-Weather-Service/Meteorological-Monsters/Dust/emodule/647/eitem/3016>

³⁶ <https://www.forbes.com/sites/michaelshellenberger/2019/08/30/forget-the-hype-forest-fires-have-declined-25-since-2003-thanks-to-economic-growth/#2640466c163d>

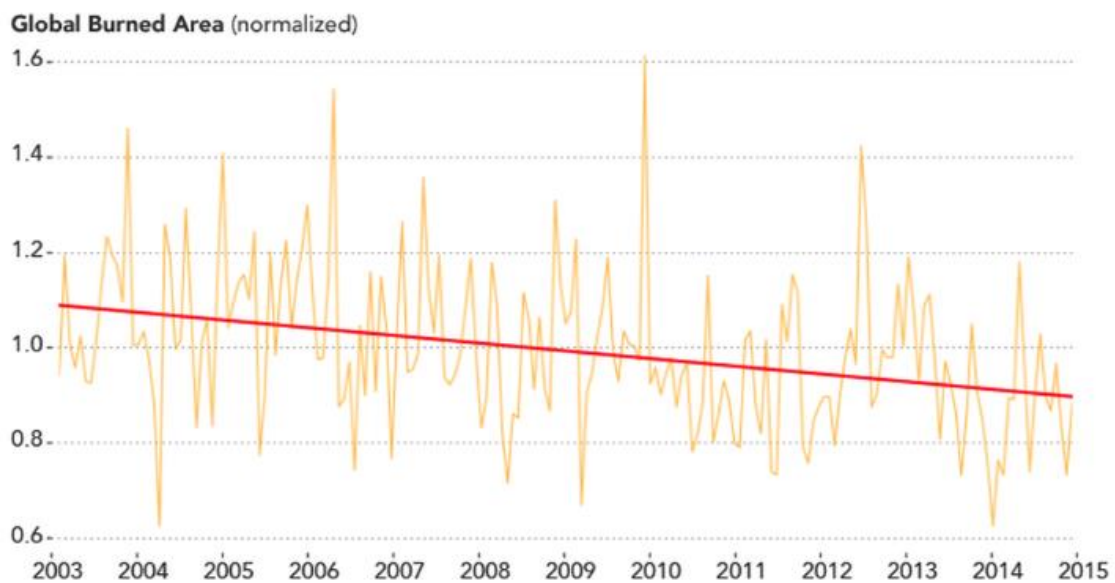


図 1-20 世界の燃焼面積。2003 年から 2015 年にかけて 25%も減少している。NASA 資料³⁷。

まとめ

山火事が起きているからといって、すぐに地球温暖化と結びつけるのは誤りだ。山火事について語るためには、まず以下のことを知っておく必要がある。

第 1 に、山火事は自然現象である。第 2 に、山火事は人間の森林管理が下手だと起きる。第 3 に、乾燥や熱波は山火事のきっかけにはなりうるが、根本的な要因ではない。第 4 に、乾燥や熱波は地球温暖化が無くても起きるものである。地球温暖化との因果関係はよく分かっていない。第 5 に、世界全体で見ると燃焼面積は大きく減っている。

カリフォルニアなど、人々の生活に悪影響を与えるような山火事の悪化に歯止めをかけるためには、根本的な問題である森林管理の失敗を改めねばならない。そのためには、

- ・居住地域の拡大を規制する
- ・森林を伐採する

といった、森林を好む人々に不人気な政策が必要で、これを採らない限り、今日直面している山火事を防ぐことは出来ない。³⁸

³⁷ <https://earthobservatory.nasa.gov/images/90493/researchers-detect-a-global-drop-in-fires>

³⁸ <https://thebreakthrough.org/issues/energy/wildfire-causes>

なおこの記事の著者 Hausfather は山火事の要因として地球温暖化が寄与しているという立場である。ただし筆者はこのイベントアトリビューション研究には方法論上の問題があると考えている。いつか詳しく論じたい。

第2章 将来予測は不確かだ

第1章では過去の観測データについて検討した。その結果、日本において台風・豪雨・猛暑等が地球温暖化で激甚化しているという証拠はないことを見てきた。

この第2章では、数値モデルによるシミュレーションの予測について、その妥当性を検討する。

地球温暖化の被害予測のシミュレーションには、

- 1) 将来の温室効果ガス排出量の予測。「排出モデル」による。
- 2) 温室効果ガスによる地球の温暖化の予測。「気候モデル」による。
- 3) 地球の温暖化による環境影響評価の予測。「環境影響評価モデル」による。

の3つの段階があり、前段階の結果が次段階で用いられる。更に、これらの結果が世間に広まるには、第4段階として、

- 4) メディアの報道

がある。

だが、この何れの段階にも問題があることを見ていこう。

一口に言えば、3段階のシミュレーションの全てが不確かであるために、その掛け算として出てくる環境影響評価の予測は極めて不確かになる。極めて不確かだから、おどろおどろしい、極端な被害の予測は幾らでも出てくる。メディアは、その中でもっとも不吉な予測を取り上げて報じる傾向にある。

1 SFの如き極端な排出シナリオ

要約

3段階のシミュレーションの第1段階は、将来の温室効果ガス排出量の予測である。これは、経済成長・人口増加・技術進歩等に一連の想定を置いて、エネルギー消費量がどのくらい増えるか勘定し、それによるCO₂排出量を予測する、というものだ。

ところが困ったことに、よく議論されているシナリオは、排出量が多すぎるか少なすぎるか、両極端で、どちらもまるでSFのように実現可能性がない。

とにかく環境影響を大げさに見せたい環境影響評価研究では、排出シナリオが極端に多い「最悪シナリオ」が用いられている。他方で、極端な温暖化対策を唱道したい研究者や運動家は、これまた実現可能性の無いSFのような「大幅削減シナリオ」を描いている。

だがこれはいずれも現実から乖離しており意味ある分析ではない。現実はその中間にあるはずだが、真剣な検討が乏しいのは残念なことだ。

IPCCの「最悪シナリオ」の排出量は多すぎて非現実的だ³⁹

事実上ベースライン（＝なりゆき）シナリオとして用いられている IPCC の「RCP8.5 シナリオ」（「最悪シナリオ」とも呼ばれる）の温室効果ガス排出量は過大評価であり、現実的には、「地球温暖化による温度上昇はなりゆきでも今後 2℃程度（産業革命前からだと 3℃程度）に留まるのではないか」という指摘がいま学界でなされている。（なおこの 2℃、3℃という推計は IPCC の気候モデルの平均値であるが、この計算にも問題があることは後述する）。

この指摘が重要なのは、シミュレーションの第 2 段階に当たる気候モデルも、第 3 段階の環境影響評価モデルも、この「最悪シナリオ」に基づいて試算されることが多かったからである。つまり、気候システムへの悪影響も、環境への悪影響も、その多くは、現実味の乏しい、ありえないぐらい高い排出量のシナリオに基づいていたことになる。以下に詳しく見てみよう。

地球温暖化の予測については、「温暖化対策なかりせばの場合」の「なりゆき」ないし「ベースライン」排出量として、IPCC の RCP8.5 シナリオがよく用いられる。例えばそれは図 2-1 の環境省資料のように扱われている。そこでは、RCP8.5（赤）が「温暖化対策なかりせばの場合」を、RCP2.6（青）が「温暖化対策をした場合」として取り扱われている。

³⁹ 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/2020/03/sugiyama200331/>

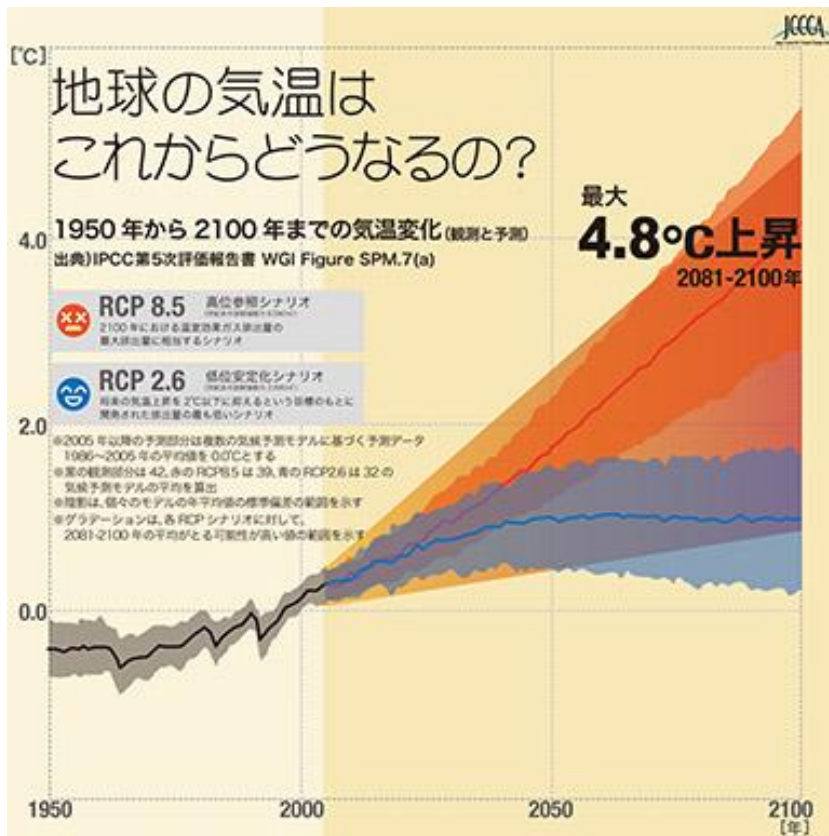


図 2-1 IPCC による温暖化予測を紹介する環境省資料。⁴⁰

しかしこの「最大 4.8°C 上昇」と書いてある「RCP8.5 シナリオ」というのは、まずありえないぐらい高い排出量のシナリオであり、実際にはなりゆきで起きることは、それほど極端な排出量の増加ではない、と米国ブレークスルー研究所の Zeke Hausfather は述べる。⁴¹

その理由を見てみよう。まず図 2-2 のように、最近の国際エネルギー機関 (IEA) のシナリオでは、「現状の政策の延長 (Current Policies)」、および、「現在アナウンスされている政策が実施される (Stated Policies) シナリオ」のいずれにおいても、RCP8.5 よりもはるかに低い排出シナリオになっていることを挙げている。

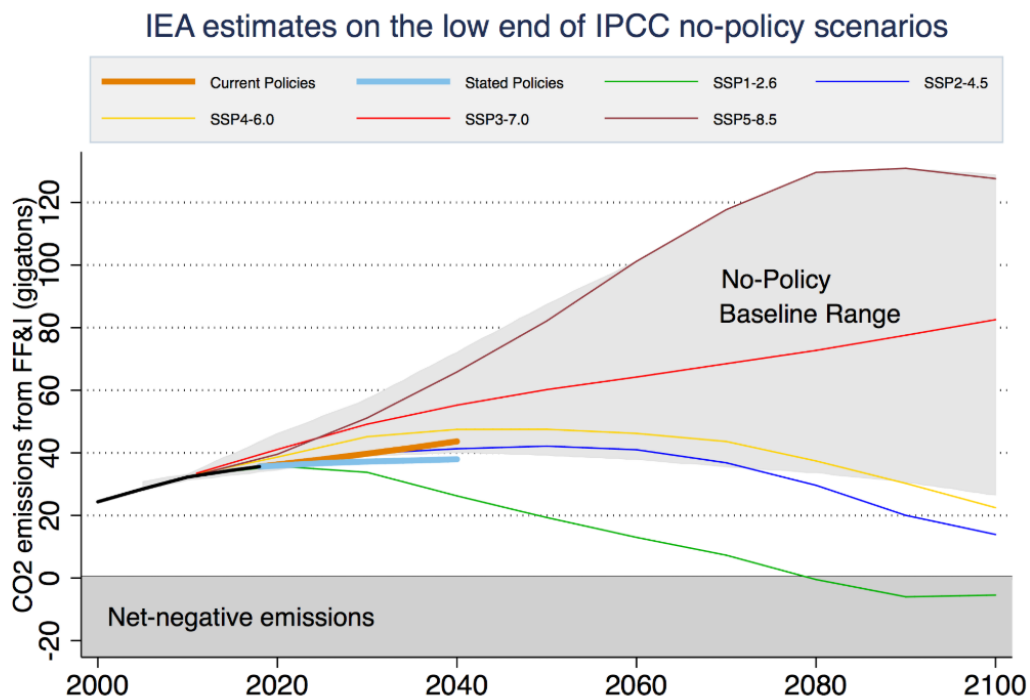
⁴⁰ <https://www.jccca.org/>

⁴¹ <https://thebreakthrough.org/issues/energy/3c-world>

なお同主旨の小論が Nature にも発表されている <https://www.nature.com/articles/d41586-020-00177-3>

RCP8.5 シナリオについての詳しい解説は:

<https://www.carbonbrief.org/explainer-the-high-emissions-rcp8-5-global-warming-scenario>

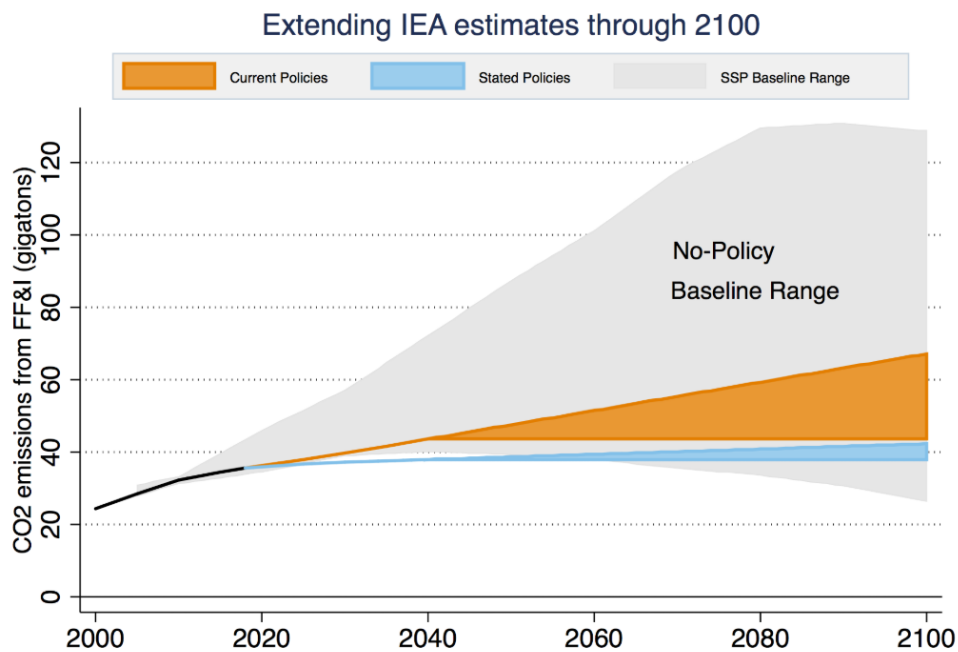


Annual CO₂ emissions from fossil fuel and industry in CPS and STPS IEA scenarios compared to the range of baseline scenarios examined in the SSP Database, as well as a subset of the baseline and mitigation scenarios chosen for use in the upcoming IPCC AR6 report.

図 2-2 IEA と IPCC のシナリオの比較。IEA のシナリオは 2040 年までで、2 つある (Current Policies=現状の政策および Stated Policies=政府が声明した政策)。IPCC の 4 つのシナリオと比較している)⁴²

そして、IEA はこの排出シナリオを 21 世紀前半までしか示していないが、Zeke は、これを 2100 年まで外挿したシナリオを、図 2-3 のように推計した：

⁴² <https://thebreakthrough.org/issues/energy/3c-world>



Annual CO₂ emissions from fossil fuel and industry in CPS and STPS IEA scenarios compared to the range of baseline scenarios examined in the SSP Database. Scenarios are extended from 2040 through 2100 by assuming constant emissions after 2040, or by assuming that the rate of emissions growth from 2030 to 2040 continues for the remainder of the century.

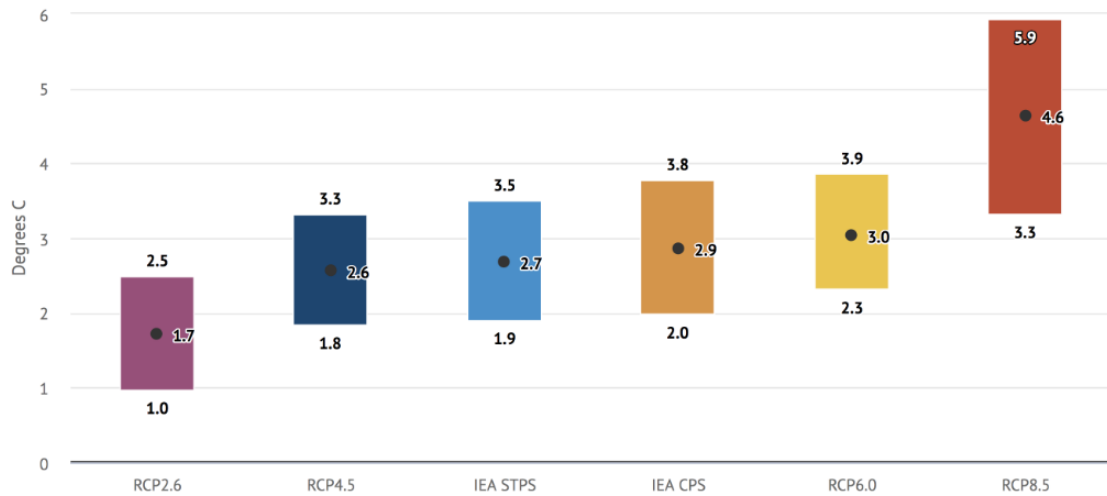
図 2-3 2100 年まで延長された IEA シナリオ。⁴³

このときの温度上昇は、中央値で 2.7~2.9℃、下限で 1.9~2℃、上限で 3.5~3.8℃程度となる(図 2-4 の IEA STAPS (STATED Policy Scenario および IEA Current Policy Scenario CPS))

⁴³ <https://thebreakthrough.org/issues/energy/3c-world>

Warming in RCP and IEA scenarios between 1880-1900 and 2090-2100.

IEA scenarios are extended through 2100 by assuming constant CO2 emissions after 2040.



Range of warming and multi-model mean for AR5 CMIP5 RCP runs, as well as extended IEA scenarios. Warming in IEA scenarios calculated assuming flat FF&I CO2 emissions post-2040, and that non-FF&I CO2, non-CO2 GHGs, and other forcings in follow RCP4.5.

図 2-4 温度上昇の推計値。⁴⁴

IEA シナリオやその外挿シナリオの排出量が IPCC シナリオよりも低くなる理由は何であろうか。

まず過去については、2005 年から現在までの IPCC シナリオを観測値と比較したコロラド大学の Matthew G. Burgess. らは、やはり IPCC シナリオの排出量が現実よりも高く推移したとした上で、その要因としては、経済成長率の設定が、現実に起きたものよりも高くなっていたことが最も寄与していた、とした。それに次いで、一次エネルギー消費量あたりの CO2 排出量も、IPCC シナリオは現実よりも高かった、としている。⁴⁵

次いで、将来の IPCC シナリオの排出量が高くなっている理由として、Zeke Hausfather は、IPCC のシナリオは 2005 年や 2010 年頃の情報に基づいて作成されているため、情報が古いことを指摘している。

実際、IPCC の RCP8.5 シナリオは、世界の石炭消費量が今後 5 倍になるというシナリオである。しかし、現実には、そこまで石炭消費が増えるとは思えない。その重要な理由として、多くの技術進歩がすでにあつたことが挙げられる。近年あつたものを幾つか挙げると、シェールガス革命が起きて天然ガスが安くなった。また太陽光発電や風力発電が拡大した。また LED 照明の普及を筆頭に、省エネルギー技術も進歩した。今後もこのような技術進歩は続くだろう。

⁴⁴ <https://thebreakthrough.org/issues/energy/3c-world>

⁴⁵ (Burgess, Ritchie, Shapland, & Pielke Jr., 2020) <https://osf.io/preprints/socarxiv/ahsxxw>

内容を詳しく見ると、RCP8.5 シナリオとは、奇妙なシナリオである。非常に高い経済成長率でありながら、技術が殆ど進歩しない。そして人々は、所得水準が高くなったにも拘わらず、他のエネルギー資源ではなく、世界の石炭消費量を今日の5倍になるまで増やし続ける、というシナリオだ。

Zeke Hausfather は、RCP8.5 シナリオはベースラインとして考えるには不適切であって、ベースラインの温度上昇は約3℃とすべき、と結論している。これは100年前からの上昇幅なので、現時点からだと、約2℃の上昇、となる。ただし気候の科学に不確実性があり、それを勘案するとベースラインの温度上昇はこれにプラス・マイナス約1℃、となる（なおこの気候の科学の不確実性については節を改めて詳しく論じる）。

もともとRCP8.5シナリオは、予言するために作られたのではなく、「考えられ得る限り高い排出のシナリオを研究する」という目的で作られた。しかしその後、環境影響評価の際にもっともよく用いられるようになって、すっかり「温暖化対策なかりせばの場合」としてのベースラインとしての役割が定着してしまった。だが、政策を分析するためには、実現可能性が乏しいシナリオを用いることは適切ではない。環境影響評価は、もっと実現可能性の高いシナリオのもとで分析した結果を示し、政策決定者に示すべきであろう。

なりゆきでの温度上昇があと2℃に留まるといふことであれば、排出削減戦略の在り方も変わってくるはずだ。

IPCCの「大幅削減シナリオ」は極端に排出が少なく非現実的だ⁴⁶

「最悪シナリオ」の排出量は高すぎて非現実的だと述べたが、じつは、パリ協定の下敷きとなった大幅な排出削減シナリオも非現実的である。非現実的になる理由は、それが極端な政策を唱道することを暗黙の目的としているからだ。

シナリオによる政策操作

20年ほど前、小生の知り合いだったインド人の女性は、「政策決定者を操作するなんて簡単よ。シナリオをあげればそれで終わり」と言い放っていた。たしかにシナリオがいくつか描いてあると、政策決定者はそれに相当囚われる。パリ協定の2℃以下という温度目標や、今世紀後半にCO₂をネットでゼロにするという排出削減目標は、結局はIPCCが用意した大幅な排出削減シナリオ(以下、単に「大幅削減シナリオ」とする。正式にはRCP2.6シナリオという)をそのまま採択したようなものだった。IPCC報告書は分厚くて、沢山のことが書いてあるけれども、結局、政策決定に影響したのは圧倒的にシナリオだけで、他は殆ど何の影響もなかった。

大幅削減シナリオは選択肢になっていない

⁴⁶ 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/2019/06/sugiyama190626/>

国際交渉では、シナリオは将来についての「選択肢」であり、政策担当者はそこから選択を迫られるのだ、という図式が設定される。そうすると、温暖化が進むシナリオより、温暖化が進まない方が道徳的だということで、毎年開催される気候変動枠組み会議締約国会合（COP）のような政治色の濃い場では、温暖化しない大幅削減シナリオが選択されることになる。だけれども、大幅削減シナリオは本当に「選択肢」になっているのか？

大幅削減シナリオの実現可能性が、技術的に見ても、経済的に見ても、政治的に見ても、極めて乏しいことは、すでに拙著「地球温暖化問題の探究」（杉山大志，2018b）の p169 以降で詳しく述べたので、ここでは繰り返さず、かいつまんで議論しよう。

パリ協定で採択した大幅削減シナリオは 2100 年までに温室効果ガス排出がネットでゼロ以下になるとしている。そこでは、高い環境税を世界全体で導入して（ないしは極めて厳しい規制を導入して）、CO₂ 排出を大幅削減することになっている。高い環境税と一口にいうが、これは石炭も石油も天然ガスも全く使えないほどに価格が高騰する環境税だ。これを一国で導入するだけでもありえないのに、世界全体で歩調をそろえて導入するなど、もっとありえない。どの国も自国の経済や雇用を守らないとそもそも政権も国も維持できないだろう。それに、世界では軍事的緊張もあちこちにある。世界全体でかかる高額の環境税を導入するとなれば、IPCC の大幅削減シナリオはあたかも暗黙裡に「世界平和を前提としている」としか考えられない。

しかし、世界平和は「選択肢」なのか？ その可能性が無いとは言わないし、それに向けた努力を進めることも良い。しかし、それは温暖化問題に関しての「選択肢」ではない。世界が平和とは限らないというのは、温暖化問題を考えるにあたっては与件とすべきであろう。常識的には、「選択肢」というものは、制度、予算、人員など、一定の現実的制約の範囲内で実現できるもののことを指す。しかし、大幅削減シナリオは、かなり荒唐無稽な前提のもとでしか実現しえないから、全然、常識的な意味での「選択肢」になっていない。

希薄な願望 Wishful thinking に過ぎないシナリオ

むしろ、このような排出削減シナリオは、運動家の「こうあるべき姿」や「こうすれば実現できるはず」という科学的根拠の希薄な願望 wishful thinking を、数値モデルを用いてもっともらしく肉付けしたものに過ぎない。口の悪い米国の友人は、「シナリオはみんなインチキ (bull shit) だ。だけど切れ味が良い (crisp) と言っていた。

IPCC の大幅削減シナリオも、その例に漏れない。2007 年の第 4 次報告では、2°C 目標を達成するシナリオは、実現可能性があまりに低い、と殆どの研究者は考えていて、ごく一部のグループしか検討していなかった。それが、パリ協定に向けて政治的な注目が高まると、もの見事に 2°C 目標を達成するというシナリオが 2014 年の第 5 次報告では多数出てきた。さらにその後、2015 年に採択されたパリ協定で 1.5°C という目標にも注目が集まると、これまた見事に 2018 年の IPCC 1.5 度特別報告書に間に合うように 1.5°C のシナリオが出てきた。どのような温度目標でも、それに合わせた排出削減シナリオはいくらでも量産されるわけ

だ。中身を見ると実現可能性の殆ど無いシナリオばかりだが、それをきちんと実現可能性が無いと言わず、さも選択肢であるかのように見せたのは、IPCC の誤りだ。

シナリオは前提条件を巡って議論するためにある

シナリオは、フィージビリティ・スタディでもない。フィージビリティ・スタディというと、実施可能性があるかどうか検討するというものだが、CO2 大幅削減のシナリオはそこまで行きつかない。いくら大掛かりで細部まで表現するモデルだと誇ってみても、あまりにも任意の設定が多すぎて、「実施可能性がある」と言い切ることはまずできない。

ではシナリオはどのように使うべきか。

マヨーネが遙か以前に著書で述べているように⁴⁷、CO2 削減のシナリオは「フィージビリティ・アーギュメント（実施可能性についての主張）」と呼ぶべきものだ。CO2 削減のシナリオは、何かを客観的に分析しているものではなく、何かを主張するときの道具立ての1つである、と解釈すべきということだ。モデルには必ず任意性があり、モデル分析者の主観が入るので、完全に客観的なものにはなりえない。しかし、ある主張の妥当性を検討するためには、モデル分析がなされ、その前提や結果が公開されていると、より詳しい議論ができる。議論の中には、シナリオにおける任意の設定、暗黙の設定など、様々な前提条件が含まれるはずだ。シナリオ分析は、このような議論に供するためには有益である。まったく定量化されていないのでは、どのような政策を採るべきか、議論の焦点がなかなか定まらないからだ。

すると IPCC のシナリオは、ありえない前提を沢山置いているから、どうやら「現在の知見では、このシナリオは実現しそうにない」と結論するためには、有益な情報だった筈な訳だ。ところが、現実には起きたことはまるで逆で、前提条件を巡る議論は全く起きないまま、パリ協定で2℃目標が採択された。これには、シナリオを意図的に宣伝させた、研究者、運動家、政策決定者が絡んでいる。

このようなことを防ぐにはどうすれば良いか。荒唐無稽なシナリオについては「王様は裸だ」と堂々と指摘すること、そして、シナリオの前提条件を巡って、なぜそれが実現可能か、あるいは荒唐無稽であるか、徹底的に議論することであろう。

2 気候モデルの予測は不確かである

要約

上記で、より現実的な排出シナリオのもとでは、3℃程度の温暖化に留まる、と述べた。だがこれは、IPCC に参加している複数の気候モデルの予測の分布の中央値を取った場合である。ではこの気候モデルの予測は正しいか。

⁴⁷ マヨーネ著、政策過程論の視座—政策分析と議論、三嶺書房、1998年。

まず確認すべきこととして、産業革命前に比べて CO2 濃度が倍増した時の温度上昇は「1.5°Cと 4.5°Cの間に入る可能性が 66%以上」というのが IPCC の公式見解である (IPCC, 2013)。つまり、**将来予測が不確かだ**ということは IPCC もはっきり言い続けている。

次に、IPCC がはっきり言ってこなかったこととして、じつはモデルによる温度上昇の計算結果は「チューニング」されている。一般の人々は、モデルによるシミュレーションは科学計算に基づく予測だと思って受け入れている。だがじつは、シミュレーションは物理学や化学の基礎方程式をそのまま直接に解いたものではない。モデルには雲が出来て雨が降る過程を初めとして、観測事実でその範囲を制約できない、任意性のあるパラメーターが多数設定されている。そして、CO2 等の濃度上昇に対して温度上昇がどの程度になるか、その結果を見ながらパラメーターをチューニング (=調整) している。「20 世紀後半に CO2 濃度が増大したことに伴い、地球温暖化が起きた」という過程はこのチューニングによって再現されている。また 21 世紀末までの将来の温度上昇も、結果を見ながらチューニングされている。

ここで熟考すべきは、このチューニングという工程を経て発表された「予測」は、**経済的に巨額の負担がかかる政策を実施する根拠にすべきものであろうか**、ということだ。この問いには第 3 章で回答してゆくが、この第 2 章を読む際にも頭の片隅に入れておいて頂きたい。

地球の温度上昇について、CO2 による赤外線吸収の寄与はよく分かっている。だがそれよりも寄与の大きい水蒸気・雲の変化とエアロゾルの影響はよく分かっておらず、チューニングはこれらを表現する不確かなパラメーターについて実施されている。

これ以外にも、**地球全体の気温を変化させるメカニズムとしては、よく分かっていないものが幾つもある**。大気・海洋の長期的な振動、太陽の光・紫外線・磁場の影響、オゾン層破壊物質の影響等である。チューニングによって、モデルは CO2 が地球温暖化の主な要因であると「教え込まれ」ている。だがこれがどの程度正しいかは定かではない。

また気候モデルは、過去や現在の気候の再現も十分に出来ているとは言えない。このため、将来の気候の予測についても不確かである。

地球気候モデル (GCM) とは何か⁴⁸

まず地球気候モデル (Global Climate Model) とは何か、説明しよう。GCM とは、コンピューターを使って地球気候システムのシミュレーションをするものだ。GCM には大気、海洋、地表、海氷、氷床をモデル化したモジュールがある。大気モジュールは風、温度、湿度、大気圧の推移を計算する。GCM にはまた、海洋の水循環、それが熱をどう運ぶか、海洋が大気と熱や湿気をどうやりとりするかを表す数式もある。地表モジュールは、植生、土壌、雪

⁴⁸ この説明は主に以下に依っている：<http://ieei.or.jp/wp-content/uploads/2019/07/Climate-Models-Japanese.pdf>

や氷による被覆が、大気とエネルギーや湿度をどうやりとりするかを記述する。海氷や氷床のモジュールもある。モデルの数式の一部は、ニュートンの運動法則や熱力学第一法則といった物理法則に基づいているが、主要プロセスの中には、物理法則に基づかない近似もある。

コンピューターでこうした方程式を解くため、GCM は大気、海洋、陸地を三次元のグリッドに切り刻む。そしてグリッドのそれぞれのセルごとに方程式が計算される。これがシミュレーション期間の時間ステップについて繰り返される。グリッドとセルの数が、モデルの解像度を決める。GCM の大気モデルで一般的な解像度は、水平方向 25-300km、垂直方向は 1km、時間ステップは 30 分ごとであるが、これは年々高くなっている。

とは言え、モデルの空間的・時間的解像度は現実の気候系と比べるとかなり粗い。そして、重要なプロセス（たとえば雲の形成や降雨の発生）はモデルの解像度より小さい規模で起こる。こうしたグリッドのサイズ以下の物理的・化学的なプロセスは、「パラメーター化」により表される。これは実際のプロセスを近似しようとする単純な数式で、実測に基づいたり、もっと詳細なプロセスモデルから導かれたりする。こうしたパラメーターは、過去の観測値と気候モデルの出力を近づけるために「チューニング」される。

GCM で使われる数式は、気候系における物理的・化学的プロセスの近似でしかなく、こうした近似の一部はどうしても粗雑になる。この理由は、プロセスが科学的によく分かっていなかったり、観測データが不足していたり、コンピューターの計算能力に限界があったりするためだ。

モデルは予測結果を見ながらチューニングされている⁴⁹

地球温暖化問題を議論するとき、一般の人々は、モデル計算による温度上昇のシミュレーションを科学計算に基づく予測だと思って受け入れている。

だがじつは、シミュレーションは物理学や化学の基礎方程式をそのまま直接に解いたものではない。モデルには任意性のあるパラメーターが多数設定されており、CO₂ 等の濃度上昇に対して温度上昇がどの程度になるか、結果を見ながらチューニング（＝調整）されている。

このことはあまり公の場で語られてこなかったが、近年になって、一部の有力な研究者が公表するようになった。シミュレーションは研究の道具としては有用であり、チューニングはその一環を成している。

しかし、その「予測」を政策決定に利用するならば、それが温度上昇の結果を見ながらチューニングされている、という事実を念頭に置く必要がある。

⁴⁹ 初出 拙稿 温度上昇の予測は「チューニング」されている

<http://ieei.or.jp/2020/04/sugiyama200403/>

温度上昇が急速に進むという一部のモデルの結果を信じて、経済・社会的に悪影響が大きい極端な温暖化対策を採ることは、果たして適切なのだろうか？ 第 3 章でこのような問いに答えてゆくために、まず以下でチューニングの実態を見てみよう。

開かれたブラックボックス

モデルのチューニングについて、研究者はあまり公の場で語ってこなかったが、近年になって、この業界の有力な研究機関の研究者たちが、その実態について発表するようになった。

Voosen (2016)は、論文誌 Science の紙上で、「気候科学者、ブラックボックスを開いて検討にかける」という紹介記事を書いているので、その概要を紹介する。なお以下で出てくる研究所(マックス・プランク研究所 MPIM, 地球物理流体力学研究所 GFDL)は、いずれも気候モデル業界においてもっとも有力な機関として知られる：

- ・ 「チューニング」という慣行が気候モデル業界に存在する。
- ・ モデル研究者はチューニングをできるだけ少数のパラメーターの調節に制限しようと努力するが、思うように減らすことはまず出来ない。
- ・ チューニングは科学でもあるが、職人技(art)でもある。「それは、音の悪い楽器を調整するようなものだ」と MPIM の Bjorn Stevens が述べている。
- ・ GFDL の Isaac Held は、「すべてのモデルがチューニングされている」と述べている。研究者が認めるか否かにかかわらず、ほぼすべてのモデルは 20 世紀の温暖化を再現するようにチューニングされている。さもなければ、計算結果はゴミ箱行きになった。
- ・ Voosen によれば、チューニングについて語ることは長い間タブーだった。それは、本当のことを語ると「人為的温暖化説に懐疑的な人々に付け込まれる」との恐れによるものだった。しかし、Stevens を初めとした一部の研究者たちは、チューニングをどのように行ったのか、その手続きを公開することが適切と考えた。理由は、以下の通りだ：
 - ・ 透明性を高めることはモデルの改善に役に立つ
 - ・ 環境影響の研究者にとって、モデルの出力結果がプロセスの計算によるものなのかチューニングのせいなのかを知ることは大事である
 - ・ モデルの結果は政策決定に利用されるから、チューニングの実態を明らかにしたほうがよい

Voosen が紹介している、チューニングの実態についての興味深いエピソードがある。マックス・プランク研究所の Thorsten Mauritsen らは、モデルにおける地球から宇宙への熱の放射に関するプロセスを改善したところ、気候感度 (=CO₂ 濃度が産業革命前の 280ppm

から 560ppm に倍増した場合の平衡状態における地球平均の温度上昇。気候モデルの CO2 濃度に対する感度を特徴づける指標としてよく使用される) がそれまでの 3.5°C から 7.0°C に倍増してしまった。IPCC では気候感度の幅は 1.5°C と 4.5°C の間とされてきたから、これではその範囲を大きく外れてしまう。そこでどうしたかという、他のパラメーターを「チューニング」して、気候感度を下げた。マックス・プランク研究所は、それまでは、「気候感度の計算結果を見てチューニングをすることはしない」というプライドがあったとのことだが、方針を変えてしまったということだ。「気候感度が 7.0°C だったモデルは本当に良いモデルだったのに」と Mauritsen は言う。

たった1つのパラメーターで温度予測が大きく変わる

NOAA (米国海洋大気庁) の (Zhao et al., 2016) は、雲粒から雨が発生する過程におけるパラメーターを変えることで、気候感度が大きく変わることを見出した。その値を高位から低位まで変えることで、気候感度は 3.0°C から 1.8°C まで変わるという⁵⁰。そして Zhao らは、このパラメーターを特定できるような観測事実が存在しないため、GCM では、このパラメーターの設定次第で気候感度を自在に操る自由度が存在する、と指摘している。⁵¹

チューニングの実態調査が公表された

(Hourdin et al., 2017) は、チューニングは気候モデルの「根本的な点 (fundamental aspect)」であるとして、どのような方法が取られているかをモデル研究者を対象にアンケート調査し、分析した。論文は「気候モデルチューニングの技法と科学 (Art and Science)」として公表された。これは MPIM、NOAA を初めとした複数の有力機関の研究者の連名で発表されている。

以下の点が指摘されている：

- ・ パラメーターのチューニングは、気候システムの振る舞いを推定する作業の一部である、という側面がある。
- ・ しかしながら、そこには主観ないし任意性が内在し、またごく一部の専門家の暗黙知 (経験と勘) に依存することもある。

⁵⁰ 原論文では、いわゆる気候感度とはやや定義が違ふ Cess Climate Sensitivity が 0.82 から 0.48 (KW⁻¹m²) まで変わるとしている (Table 1) が、分かり易くするために、本稿ではいわゆる気候感度への換算に通常用いられる $\Delta F=3.7\text{W}/\text{m}^2$ を掛けて、3.0°C から 1.8°C とした。

⁵¹ 原文 : Given the current level of uncertainty in representing convective precipitation microphysics, this study suggests that one can engineer climate sensitivity in a GCM by the approach used for parameterizing convective precipitation ... so far, we have not found a clear constraint that we feel would make one model choice more plausible than another.

- IPCC 第 5 次評価や IPCC1.5 度特別報告書で用いられたモデル比較研究「CMIP5」においては、どのようなチューニングが行われたか、公表されなかった。これは「透明性の欠如」である。
- チューニングについて公表されなかった理由は、「科学的ではない」「温暖化予測に疑問がある」といった批判を起こしたくない、という意図の表れだったかもしれない。
- パラメーターの多くは、観測によって範囲を制約することが難しい。チューニングの過程ではそのような不確かなパラメーターを変えることで、モデルの主な出力を観測に合わせる事が普通に行われている。
- そのようにして最も頻りにチューニングされるパラメーターは、雲と雨の挙動に関するものである。だがそれ以外にも、雪や氷の反射、海水の混合、植生や土壌など、チューニングの対象は幅広い。
- 20 世紀の地球平均温度の上昇や気候感度についても、チューニングの対象にしている研究が多い。あからさまなチューニングの対象にしていない、という研究についても、暗黙裡にはチューニングの対象にしていることがある。
- 地表の気温(°C)は放射強制力(W/m²)によって上がるが、放射強制力は、A)「CO₂等の温室効果ガスによる温暖化の効果」から、B)「エアロゾルによる冷却化の効果」を差し引いて決まる⁵²。A)とB)の何れも不確実性が大きく、チューニングの対象となっている。A)に不確実性が大きいのは雲の形成と降雨の過程を含むためである。
- モデル間の比較研究では、A)とB)の間に相関関係が見出されている。つまりCO₂等による温暖化が大きいモデルでは、エアロゾルによる冷却化も大きくなっていて、差し引きの放射強制力はモデル間で大きな違いが無くなっている。これは、20 世紀の温度上昇や気候感度が一定範囲に収まるようにA)とB)の相対的な大きさがチューニングされていることを示唆する(これについては節を改めて紹介する)。
- モデルによる予測は、「過去の観測と物理・化学の法則に基づいて出来たモデルを走らせた(=時間積分した)結果として、将来の温度上昇や気候感度が計算される」というようにはなっていない。実際には、モデルは、予測された温度上昇や気候感度の出力結果を見ながら意図的にチューニングされている。
- モデルの気候感度ないしは温度上昇をチューニングする際には3つの不確実性がある。第1は観測された温度の不確実性、第2は放射強制力の不確実性、第3は自然変動による温度上昇である。いずれも、それに合わせてチューニングすると、いわ

⁵² エアロゾルの冷却化効果およびその不確実性が大きいことについては
<http://ieei.or.jp/2019/11/opinion191127/>

ゆる「オーバーチューニング」（過学習）になる。このとき、気候感度ないし温室効果ガスによる温度上昇は、過大評価されたり、過少評価されたりする。

- ・ チューニングをどのように行っているか、モデル研究者は体系的に公表すべきである。

20 世紀におきた温度上昇について補足する。IPCC の第 5 次報告では、ある期間に観測された温度上昇と、それにチューニングされたモデルが示す CO₂ 等の温室効果に依る温度上昇が一致したことを示し、観測された温度上昇が主に温室効果によるものだとしている⁵³。しかしこれだけでは、論理的に言って、証拠にはならない。というのは、モデルは、温度上昇が温室効果ガスによるものだと「チューニング」によって教え込まれている可能性があるからだ。

20 世紀に起きた温度変化の一部は、温室効果ガス以外の要因によるのかもしれない。その候補は多く指摘されている。例えば、エアロゾルの変化、大気・海洋の長期的な内部振動^{54, 55, 56, 57}、太陽の放射強度・紫外線・磁場の変化⁵⁸、オゾン層破壊物質の寄与（後述）、等である。

そうすると、温室効果ガスによる温暖化の効果は過大評価されていたことになる（論理的には、この正反対もありうる）。

チューニングの証拠

チューニングが行われている証拠として、複数のモデルを比較すると、気候感度と放射強制力が反比例関係にあることが発見されている（図 2-5）（Kiehl, 2007）。これは、20 世紀の温暖化が放射強制力（＝温室効果ガスおよびエアロゾルの温室効果の合計）によって実現するようにチューニングした結果である。

本来ならば、気候感度と放射強制力は独立に計算されるものである。すると、気候感度が高く、かつ放射強制力が高いモデルであれば、温度上昇は極めて高くなる。逆に、気候感度が低く、かつ放射強制力が低いモデルであれば、温度上昇は極めて低くなる。しかし実際にはどのモデルも似たような温度上昇を示していた。この理由は、気候感度が高い場合には放射強制力が低く、気候感度が低い場合には放射強制力が高くなる、といった様に、チューニングによって気候感度と放射強制力の関係が調整されて、結果として同じ様な温度上昇を出すようになっていたためである。原文では以下の記述がある。

⁵³ https://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5_wgl_overview_presentation.pdf スライド 32

⁵⁴ <https://www.thegwpc.org/content/uploads/2017/09/Tsonis-17.pdf>

⁵⁵ <http://ieei.or.jp/2019/10/expl191011/>

⁵⁶ http://ieei.or.jp/wp-content/uploads/2019/10/expl191011_Literature02.pdf

⁵⁷ http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20130629/

⁵⁸ <https://www.thegwpc.org/content/uploads/2019/03/SvensmarkSolar2019-1.pdf>

“These results explain to a large degree why models with such diverse climate sensitivities can all simulate the global anomaly in surface temperature. The magnitude of applied anthropogenic total forcing compensates for the model sensitivity”

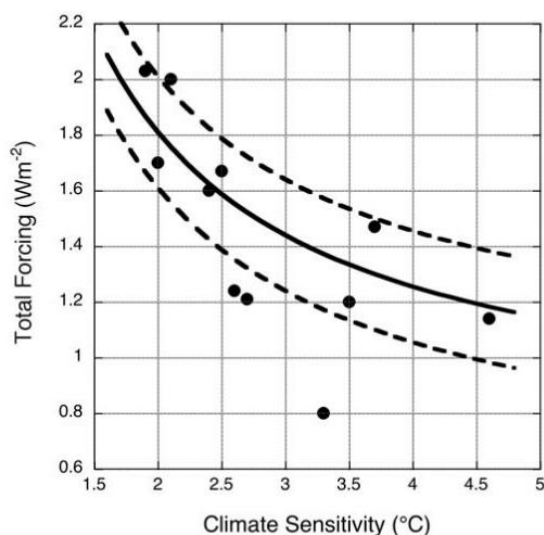


Figure 1. Total Anthropogenic Forcing (Wm^{-2}) versus equilibrium climate sensitivity ($^{\circ}\text{C}$) from nine coupled climate models and two energy balance models that were used to simulate the climate of the 20th century. Solid line is theoretical relationship from equation (4). Dashed lines arise from assuming a $\pm 0.2 \text{ Wm}^{-2}$ uncertainty in ocean energy storage in equation (4).

図 2-5 チューニングの証拠。異なるモデル間の気候感度と放射強制力は、本来は独立に計算されるため、無相関なはずである。しかし一定の温度上昇を導くようにチューニングされているため、反比例関係が観察された(Kiehl, 2007)

チューニングの事実を踏まえた政策判断

このようにしてチューニングされた結果をどう解釈するかは悩ましいところである。チューニングは、科学的理解や観測データの欠如も多い中であって、膨大な観測データに整合するようにモデルが構築された結果だと解釈すれば、その予測についても、現状で入手できるデータに基づいた、最善を尽くした予測だ、と論じることも出来よう。

しかしその一方で、最も重要な指標である気候感度（これは 21 世紀の温度上昇に大きく影響する）までもがチューニングの対象になっていて、しかもその数値がチューニングに大きく依存して決定されることには注意が必要だ。そして、チューニングには、雲の形成と降雨の過程を初めとして、かなりの任意性があるため、観測事実でパラメーターの範囲を制約することもできない。

温暖化問題に関する政策決定は、以上の事実を念頭に置くべきである。第3章で改めて詳しく論じるが、筆者は、経済・社会を大きく損なわない範囲での一定の温室効果ガス排出削減や、それを可能にする技術開発には賛成だ。しかし、温度上昇が急速に進むというモデルの結果を強く信じすぎて、経済・社会的に悪影響が大きい極端な温暖化対策を採ることには、慎重になった方が良くと思う。

モデルは現状を正確に再現できていない

地球の気候システムは極めて複雑である。モデルは「20世紀後半の地球全体の温度上昇」は前述したようにチューニングの対象になっていることもあり、比較的よく再現してきた。

だが気候モデルは物理過程を精密に表現できておらず、過去の気候も再現できておらず、従って将来予測能力も乏しい⁵⁹。

例えば、以前に書いたので本稿では詳細は省くが、モデルは21世紀初めの温度停滞（ハイエイタス）を予言できなかった⁶⁰。その他、気候モデルが現状を再現できていない、と言う指摘は多岐にわたる。とても網羅できるものではないが、以下、いくつか順に見てゆこう。

61

予測された「急激な温暖化」は起きなかった⁶²

地球温暖化は進んでいるには違いない。しかし、どの程度のスピードで進んだのだろうか。

「2018年は観測史上4番目に暑い年だった」とよく報道されているが、これは裏を返せば、もっと暑い年が3年あったということだ。データを確認してみよう。

温度上昇予測の不確実性の幅は1990年のIPCCの初めの報告書からあまり変わっていない。当時の予測では、温室効果ガス排出量が高い水準で推移した場合、21世紀中における温度上昇は10年あたりで0.3℃（不確実性幅は0.2℃と0.5℃の間）とされていた：

⁵⁹ (Mulargia, Visconti, & Geller, 2018)

⁶⁰ 拙稿、「地球温暖化問題の探究」

⁶¹ なお本稿では割愛するが、気候モデルは温度の「揺らぎ」および地球規模・長期にわたる自然変動（スタジアム・ウェーブ）を再現できていないという指摘もある。

<http://ieei.or.jp/2020/04/sugiyama200423/>

<http://ieei.or.jp/2020/05/sugiyama200526/>

⁶² 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/2019/06/sugiyama190605/>

3. ***Based on current model results, we predict:***

- under the IPCC Business-as-Usual (Scenario A) emissions of greenhouse gases, a rate of increase of global-mean temperature during the next century of about 0.3°C per decade (with an uncertainty range of 0.2°C to 0.5°C per decade); this is greater than that seen over the past 10,000 years. This will result in a likely increase in global-mean temperature of about 1°C above the present value by 2025 and 3°C before the end of the next century. The rise will not be steady because of the influence of other factors;

出典： IPCC (1990) Policymaker Summary of Working Group I (Scientific Assessment of Climate Change)⁶³

では、その後の観測データはどうなっているだろうか。

図 2-6 は、気象庁による世界の年平均の基準年からの変化である。

2000 年から 2012 年の間はハイエイタス（停滞）と呼ばれる時期で、温度上昇があまり起きていない。その後、2014 年から 2016 年にかけてのエルニーニョがあり、史上最高温度となった。しかしその後、2017 年と 2018 年には温度が下がっている⁶⁴。

この過去の傾向を理解するために、図中でカラーの線をいくつか筆者が付けてみた。赤で書いてある **0.073°C/decade** は気象庁による過去 100 年のトレンドである。こうしてみると、過去 40 年間ぐらいのトレンドで見ると、高めに見ても、緑で書いた **0.15°C/decade** 程度の温度上昇に留まっていたように見える。（なお 2 章で前述したように、この気象庁の気温データには都市化などの影響が混入していると指摘されていて、地球温暖化の寄与はこの 6 割程度と推計されているが、話を簡単にするため、ここでは気象庁のデータに沿って考えることにする）。

⁶³ https://archive.ipcc.ch/ipccreports/1992%20IPCC%20Supplement/IPCC_1990_and_1992_Assessments/English/ipcc_90_92_assessments_far_wg_I_spm.pdf

⁶⁴ <https://www.jma.go.jp/jma/press/1606/10b/sankou201606.pdf>

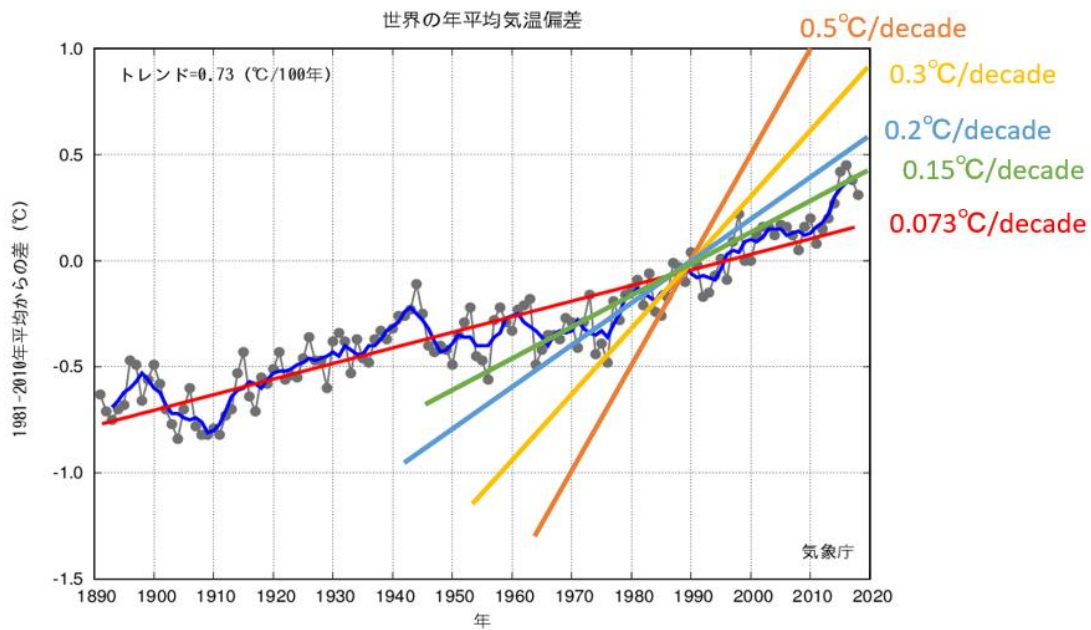


図 2-6 世界の年平均気温偏差（黒）：各年の平均気温の基準値からの偏差、太線（青）：偏差の5年移動平均値、直線（赤）：長期変化傾向。基準値は1981～2010年の30年平均値。

データ出所： 気象庁⁶⁵

ではこの後どうなるのか？ということだが、今後の温度上昇も $0.15^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ 程度なのかもしれない。この程度であれば、100年で 1.5°C のペースだから、ゆっくりとした温暖化である。

あるいは、地球規模での温暖化が進むのかもしれない。ただし IPCC のシミュレーションによる予測は、1990年の頃とあまり変わらず、不確実幅は大きい。

急激な温暖化であればリスクがあるかもしれないが、ゆっくりとした温暖化であれば、人間は適応してしまうので、たいした被害は出ないだろう。温暖化のスピードがどの程度かということ、とても重要なのだが、いまなお科学的な知見には大きな不確かさがある。

反証された気候モデル——熱帯の空が熱くなりすぎる⁶⁶

米国では、温暖化の脅威論を真っ向から否定し、議会で毎年証言をする科学者が多くいる。特に有名なのは、アラバマ大学ハンツビル校のジョン・クリスティである。彼はリモートセンシング等による地球規模の気温測定の第一人者であり、校名を冠した「UAH」の略号で知

⁶⁵ https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_wld.html

⁶⁶ <http://ieei.or.jp/2019/10/opinion191004/>

られる重要な気温データセットを 40 年に亘り構築し発表し続けてきた。その彼が 2017 年の議会証言で用いたのが図 2-7 である。

図 2-7 を説明すると、

- (1) **赤線**： IPCC で用いた気候モデルによる温暖化予測の平均。その周囲の細い線は様々なモデルによる予測。
- (2) **緑線**： 気球による観測
- (3) **青線**： リモートセンシングによる衛星観測
- (4) **紫線**： (2) (3) および地上・海上での観測データを総合的に再分析した推計値となっている。

なお温度は全て熱帯の上空（対流圏中層）のものである。地表の気温を用いない理由は、地表の気温は「チューニング」の対象になっているために、モデルの妥当性の検証に使うべきではないからである。熱帯の上空の気温は、気候システムにおいて重要な要素であり、この部分の再現性を見ることで気候モデルの妥当性を評価した。

この図を用いて、クリスティは、過去の温暖化は予想されたほど起きず、気候モデルは何れも大外れであって、したがって、将来の予測についても信用できない、と断じた。クリスティはその後の続報でも同様な結論に達している。⁶⁷

⁶⁷ クリスティの続報でも同様な結論になっていることについては(Christy, Spencer, Braswell, & Junod, 2018) ; (McKittrick & Christy, 2018) ; 最新データについては <http://www.drroyspencer.com/2019/12/cmip5-model-atmospheric-warming-1979-2018-some-comparisons-to-observations/>

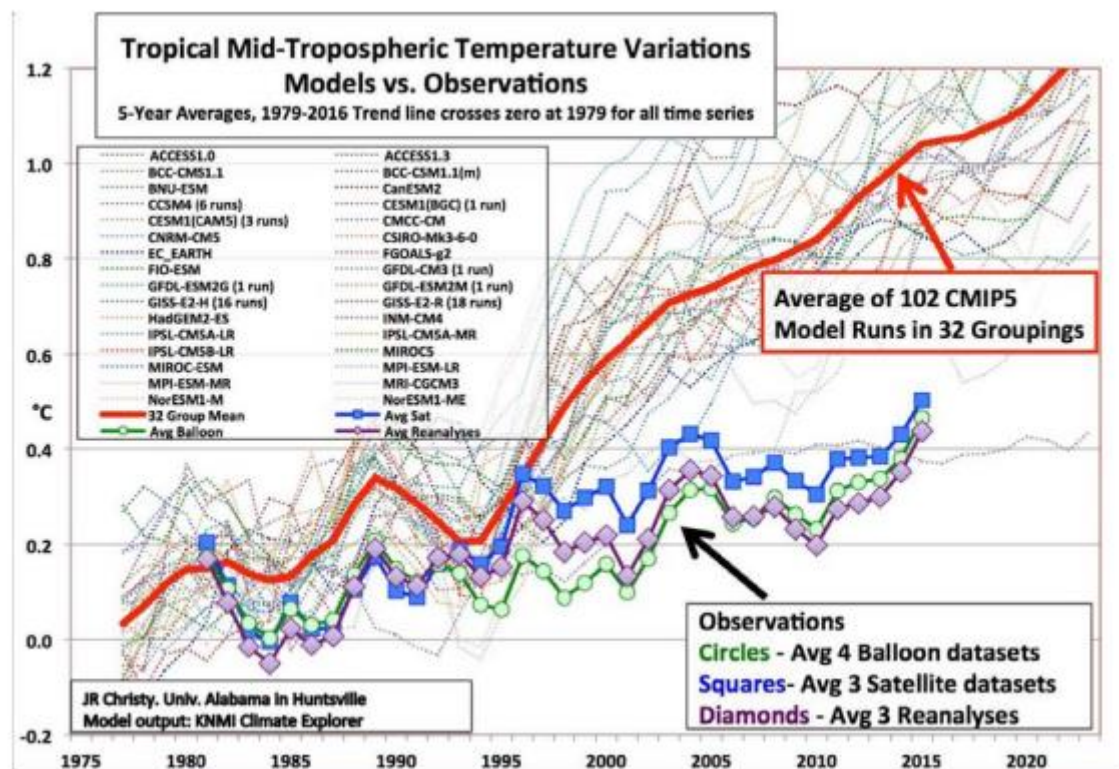


図 2-7 ジョン・クリスティが米国議会証言で用いた図。⁶⁸

地理的な温度・降水分布が再現できない⁶⁹

気候モデルは地域的な分布の再現についても誤差が大きい。温度については、図 2-8 を見ると、IPCC に参加した諸モデルの平均で誤差 1℃以上の箇所は多く、2℃以上の箇所もある。降水量についてはもっと誤差が大きくて、図 2-9 は熱帯の海が広域にわたって青くなっているが、これは年間 1000 ミリ以上も誤差があることを示している。パングラディッシュが茶色になっているのも 500 ミリ以上の誤差を示している。

エルニーニョについては、かろうじて再現できる、といったところである。すなわち、海水温や降水量の振動が 2 年から 7 年程度持続するところまでは再現出来るようになったが、その振幅や持続期間等は再現できていない⁷⁰。エルニーニョは、梅雨や台風などの日

⁶⁸ Testimony given by four prominent climate scientists to a hearing of the Committee on Science, Space and Technology of the US House of Representatives on 29 March 2017.

<https://www.thegwpf.org/content/uploads/2017/03/Climate-Science-March20171.pdf>

⁶⁹ 初出 拙稿 気候非常事態宣言・・ <http://ieei.or.jp/author/sugiyama-taishi/>

⁷⁰ IPCC 2013 p804

本の気象に大きく影響するので⁷¹、災害が起きるか議論するためにはとても重要な現象だが、その再現すらきちんと出来ていないのだ。⁷²

気候モデルは、気候システムが複雑な割にはよく再現している、と褒められなくもない。だが、その目的に照らして考える必要がある。将来において「今から1°Cか2°Cほど地球温暖化が起きた場合にどこでどの程度豪雨や台風が強くなるか予言する」といった目的に使うならば、現状の再現には余程の精度が必要であろう。だが残念ながら、そこまでの再現性はない。このため、環境影響評価の節で後述するように、将来の予測の精度も高くない。

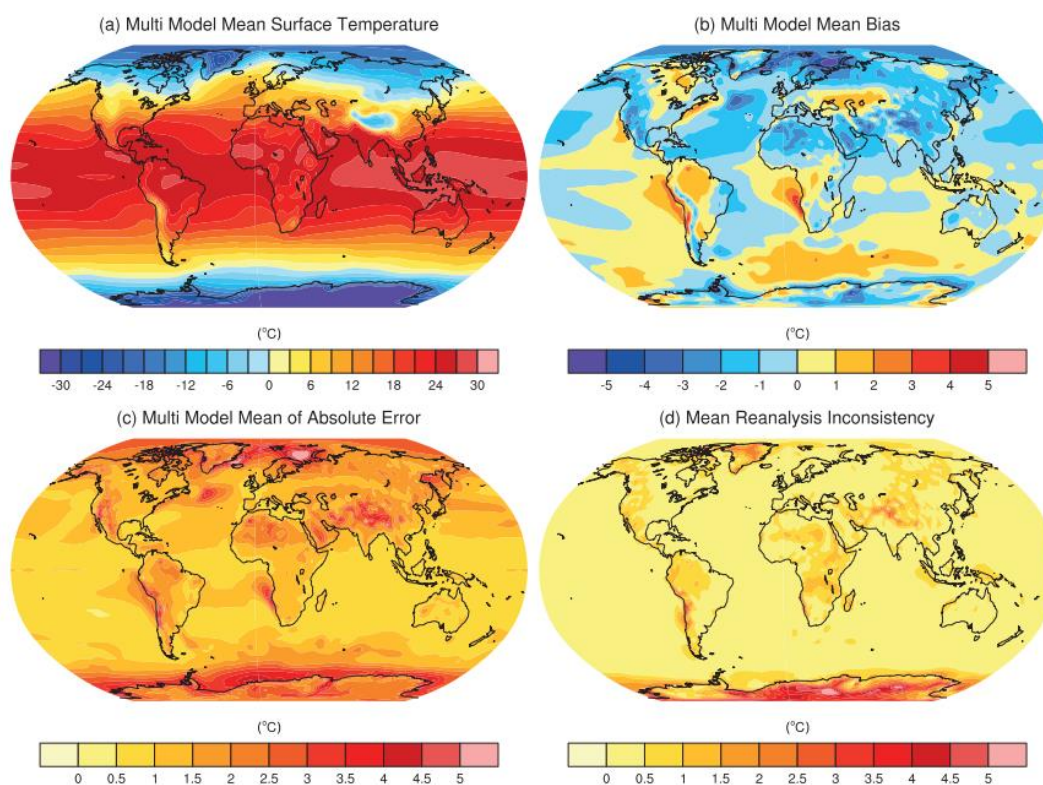


Figure 9.2 | Annual-mean surface (2 m) air temperature (°C) for the period 1980–2005. (a) Multi-model (ensemble) mean constructed with one realization of all available models used in the CMIP5 historical experiment. (b) Multi-model-mean bias as the difference between the CMIP5 multi-model mean and the climatology from ECMWF reanalysis of the global atmosphere and surface conditions (ERA)-Interim (Dee et al., 2011); see Table 9.3. (c) Mean absolute model error with respect to the climatology from ERA-Interim. (d) Mean inconsistency between ERA-Interim, ERA 40-year reanalysis (ERA40) and Japanese 25-year ReAnalysis (JRA-25) products as the mean of the absolute pairwise differences between those fields for their common period (1979–2001).

図 2-8 気候モデルの年平均気温の再現性。右上の(b)が観測値(“ECMWF reanalysis”)とモデル計算(CMIP5)の平均の比較(期間は1980-2005)。プラス・マイナス2°C以上の誤差の箇所(青から紫色の部分と、オレンジから赤の部分)もある。(IPCC 2013 Figure 9.2)

⁷¹ 気象庁 HP : <https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/data/elnino/learning/tenkou/nihon1.html>

⁷² エルニーニョもそうであるが、熱帯における雲の形成・降雨・大気の対流は、地球の気象を司る重要な物理現象であるにもかかわらず、モデルは現実を再現できていない。もっと局所的な気象な例として、熱帯での降水は、実際には夕立が起きるはずのところ、昼頃に雨が降ってしまう、という問題点も指摘されている。IPCC 2013 p797

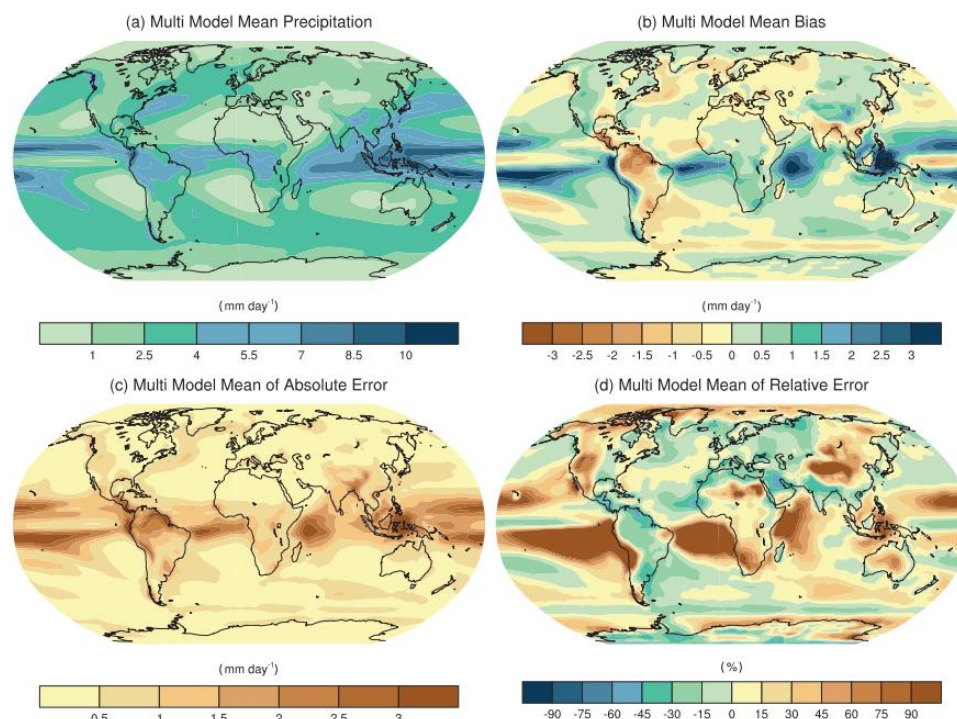


Figure 9.4 | Annual-mean precipitation rate (mm day^{-1}) for the period 1980–2005. (a) Multi-model-mean constructed with one realization of all available AOGCMs used in the CMIP5 historical experiment. (b) Difference between multi-model mean and precipitation analyses from the Global Precipitation Climatology Project (Adler et al., 2003). (c) Multi-model-mean absolute error with respect to observations. (d) Multi-model-mean error relative to the multi-model-mean precipitation itself.

図 2-9 気候モデルの年平均降水量の再現性。右上の(b)がモデル平均と観測値 (precipitation analyses)の差。単位は mm/day なので 365 倍すれば年間降水量になる。期間は 1980 年から 2005 年。(IPCC 2013 Figure 9.4)

気候モデルの選択のバイアス： 北極圏の表現は改善したが、他では悪化した⁷³

地球温暖化予測に使用される地球気候モデル (GCM) は、観測事実に合わせてチューニングされていることは既に述べた。

これに関連して、ここでは、GCM が、①モデル研究集団の注目を集めた観測事実に合わせてトーナメントのように選択されていること、②この選択の結果として、「極端な気象の発生確率」等の、他の重要な観測事実については却って再現性が下がるという事態が起きていた、という指摘を紹介する。⁷⁴

モデルによる過去の気候の説明や将来気候の予測を読み解くに当たっては、このような実態も考慮に入れる必要がある。

⁷³ 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/2020/05/sugiyama200520/>

⁷⁴ Swanson, K. L. (2013). Emerging selection bias in large-scale climate change simulations. *Geophysical Research Letters*, 40(12), 3184-3188. <https://doi.org/10.1002/grl.50562>

温度上昇の再現性： 北極圏では改善したが、他では悪化した

気候モデルには、いくつかの世代がある。同論文では、IPCC 第 5 次評価で利用された第 5 期結合モデル相互比較計画 CMIP5 (シーミップと発音する) と、その前世代にあたる CMIP3 を比較している。これらは、世界の気候モデル研究者の多くが参加している。(なお 2021 年の次期 IPCC 報告では、次世代の CMIP6 が利用される。)

CMIP5 では、CMIP3 よりも、①北極圏での温度上昇が、観測値に近い値を出すようになっている (なお、温度の変化については、「1979 年から 2001 年の平均値」を基準として、「2002 年から 2011 年の平均値」について検討している)。北極圏の温度が観測値に近づいた点に於いては、CMIP3 に比べて CMIP5 が改善である、と見ることができる。②しかしその一方で、他の広範な範囲においての温度上昇は、CMIP3 よりも、CMIP5 が観測値よりも遠ざかってしまっている。(図 2-10)

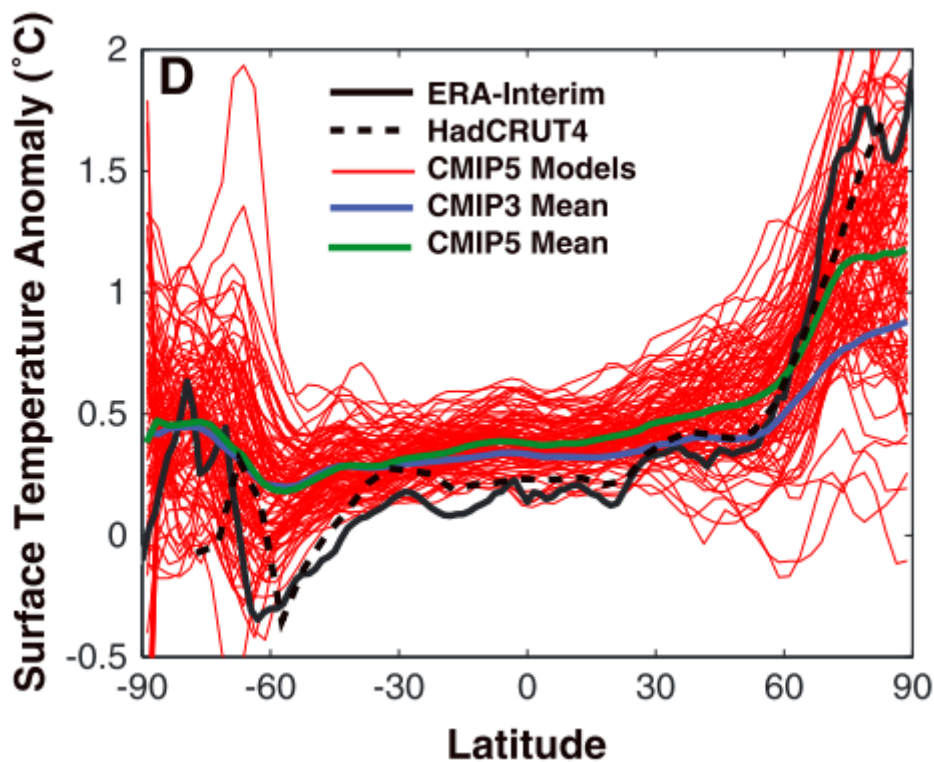


図 2-10 地球の温度の変化。横軸は緯度 (右端が北極、左端が南極)、縦軸は温度変化。CMIP5 平均 (緑色) は、CMIP3 平均 (青色) に比べて、①北極圏 (緯度 Latitude が 90 に近い部分) での観測値 (黒実線及び破線) に近づいている。②しかし、南緯 30 度から北緯 60 度にかけてでは、むしろ観測値から遠ざかっている。

極端気象の発生確率がモデルでは観測値より高くなった

平均気温以外にも、観測との不一致の増大が起きている。特に、人間活動への悪影響が懸念される極端気象の発生確率にもこれが及んでいる。

極端に暑い月の増加率は、CMIP5はCMIP3よりも増加して、観測値から大きく外れてしまっている。同様に、極端に寒い月の減少率は、CMIP5はCMIP3よりも減少して、これもまた観測値から大きく外れてしまっている（図2-11）。

（なおここで「極端」とは、1979年から2011年までの33年間で最も暑い（寒い）月から3番以内となることを指す。比較は同じ月同士でのみ行う。）

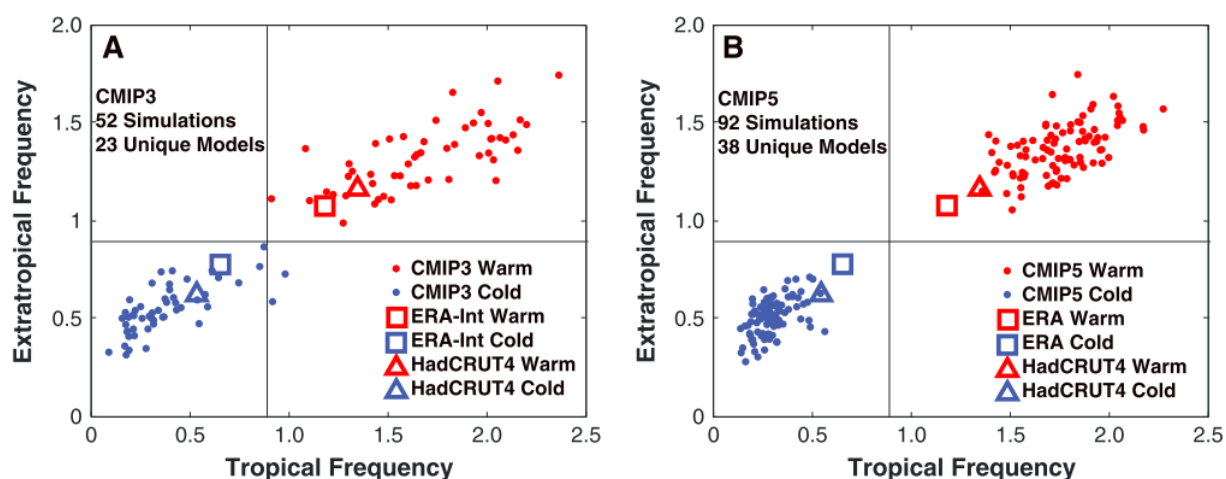


図 2-11 極端な事象の発生頻度。極端に暑い月が発生する頻度（赤）と極端に寒い月が発生する頻度（青）。横軸は熱帯における頻度、縦軸は熱帯外における頻度。CMIP3（左図）では、モデル計算による頻度分布にはばらつきがあり、観測値（□と△）はその分布の中に位置している。これに対して、CMIP5では、モデル間でのばらつきは減っているが、観測値がモデルの計算結果の分布の外に出ている。期間は1979年から2011年まで。

Swansonは、モデルを観測値に合わせて選択すること自体は否定しないが、北極圏における温度上昇ばかりに着目してモデルを選択することで、他の観測事実の再現性が落ちるようなことは正当化できない、モデルには多様性が必要だ、としている。

以上のSwanson論文からも、モデルの結果を読み解き、また利用するにあたっては、モデルの選択やチューニングによって、そのプロセスで注目された観測データとの一致が改善した、ということを確認するだけでは、不十分なことが分かる。モデルの妥当性を検証するためには、モデルの選択やチューニングの対象となっていない、他の観測データの再現性に

についても確認することがまずは必要である（それとて、検証として十分だという訳では無いが）。

なお CMIP5 では、極端に暑い月や寒い月が観測値よりも多かったということは、CMIP5 を使用した環境影響評価を読む際には、念頭に置いておく必要がある。モデルには、観測値に比べて極端な気象を生み出す性向があり、モデルを使った予測は災害を過大評価する、と言うことを意味するからだ。

地球規模の水蒸気量、降水量、海流、風速が再現できない⁷⁵

地球温暖化に関する観測データが蓄積されていて、モデルとの比較が可能になっている。最近発表された地球規模での水蒸気・降水量の観測の報告、および海流・風速の観測の報告は、何れも気候モデルと大幅に結果が異なる、としている。水蒸気量・降水量は、過去、気候モデルでは増えたはずだが、観測では増えていない。海流・風速は、気候モデルでは変化しなかったはずだが、観測では強くなった。更なる観測の強化が望まれる一方で、気候モデルはまだ検証の途上にあることが分かる。以下に見てみよう。

水蒸気量と降水量

地球温暖化に伴って、降水量が増加し、極端な降水も増え、洪水を招く、という言説がよく聞かれる。

地球規模での大気中の水蒸気量と降水量について、衛星観測、地上の計測等を統合化し、気候モデルと比較した論文が発表されたので、紹介する。⁷⁶

地球の温度が上がった場合、気候モデルでは、「相対湿度」（＝通常で言うところの湿度。飽和水蒸気量に対する水蒸気量）は変化せず、「絶対湿度」（＝単位体積当たりの水蒸気量）は温度の 1°C 上昇に対して 7% の上昇をして（クラウジウス・クラペイロンの法則）、このとき、降水量は 1% ないし 3% の上昇をする、とされてきた。

だが、観測データは、これらが何れも過大評価だったことを示す。過去、相対湿度は一定ではなく、減少した。これにより、絶対湿度もあまり上昇せず、温度の 1°C 上昇あたりに換

⁷⁵ 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/2020/05/sugiyama200522/>

⁷⁶ 論文：Koutsoyiannis, D. (2020). Revisiting global hydrological cycle: Is it intensifying? *Hydrology and Earth System Sciences*. <https://doi.org/10.5194/hess-2020-120>
<https://www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/hess-2020-120/>

分かり易い解説：

<https://www.thegwpf.com/bandwagon-of-doom-washed-away-by-tidal-wave-of-data/>

算して2%の上昇に留まった。これは僅かな変化であり、防災活動に影響を及ぼすような量ではない。

降水量についても、増加のトレンドは観測されなかった。気候モデルでは、降水量が増えることとなっていたが、これは観測データと一致しなかった。極端な降水についても、増加のトレンドは観測されなかった。

海流と風速

地球規模での海流の強さと風速についても、衛星観測、地上での観測等を統合化して、気候モデルと比較した論文が発表されたので、紹介する。⁷⁷

海流の強さを、地球全体の海流の運動エネルギーで測定した。すると、1990年以降、10年あたりで15%もの運動エネルギーの増加が測定された。この原因は、風速の増大だった。

これに対して、気候モデルでは、海流の強さは増大せず、風速も増大していなかった。観測との違いがなぜ生じたのか、その理由は分かっていない。

これまでは、地球温暖化によって大西洋の海流が弱まるという可能性が注目され、その環境影響が懸念されていた。だが、地球規模で見ると、海流の強さはむしろ増大している、とのことだった。

現時点での示唆

ここで紹介した2つの論文は、何れも、その是非を巡って、今後の学界の議論に委ねられることになる。現時点での示唆は2点ある。第1に、地球環境は極めて複雑であるため、今後も観測に重点を置いてその理解を深めていく必要があることだ。第2に、気候モデルには検証すべき点がなお多くあり、このことを政策決定に当たっては踏まえる必要がある。

オゾン層破壊物質が地球温暖化を起こしたかもしれない⁷⁸

「20世紀後半に起きた地球温暖化の3分の1と、北極の温暖化の半分は、オゾン層破壊物質による影響だった」とする論文が発表されたので紹介する。

⁷⁷ 論文: Hu, S., Sprintall, J., Guan, C., McPhaden, M. J., Wang, F., Hu, D., & Cai, W. (2020). Deep-reaching acceleration of global mean ocean circulation over the past two decades. *Science Advances*, 6(6), eaax7727.

<https://doi.org/10.1126/sciadv.aax7727>

分かり易い解説

<https://climaterealism.com/2020/03/scientists-acknowledge-ocean-currents-not-slowng/>

⁷⁸ 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/2020/04/sugiyama200420/>

同論文は、CO₂ が地球と北極の温暖化に寄与していることは間違いないが、オゾン層破壊物質も、これまで考えられていたよりも温暖化に大きく寄与していたのではないかとしている。

この主張は、その是非については今後の学界の議論を待たねばならないが、政策的に示唆するところが大きい。もしも地球温暖化へのオゾン層破壊物質の寄与が大きかったならば、それだけ CO₂ の寄与は少なかったことを意味する。すると、今後 CO₂ を削減する政策が温度上昇を抑止する効果は、それだけ少なくなる。

この論文もまた、気候システムにはまだよく分かっていないことがある、という 1 つの例である。

発表された論文

標題の論文はコロンビア大学の Polvani らによって Nature Climate Change に発表された⁷⁹。コロンビア大学からはプレスリリースが発表されており、ニューズウィークでも報じられている。⁸⁰

これまでの経緯

オゾン層破壊物質(Ozone Depleting Substances, ODS) が地球温暖化を引き起こす温室効果ガスでもあることは、これまでも認識されていた。しかし、その役割は CO₂ に比べれば桁違いに小さいと認識されていた⁸¹。

また、気候変動枠組み条約やパリ協定では、ODS は「オゾン層保護条約」で既に対象としているので「管轄外」とであるとされて、殆ど注目されてこなかった。(環境条約にも縦割り構造がある)。

IPCC でも、特に温暖化対策を議論するときには、専ら CO₂ を筆頭にいわゆる温室効果ガスが注目され、ODS は注目されてこなかった。顕著な例として、温室効果ガス排出量の推移を示す政策決定者向けの要約の図において、オゾン層破壊物質はモントリオール議定書で取り扱われているために除外されていた。(図 2-12)

⁷⁹ <http://www.natureasia.com/ja-jp/research/highlight/13188>

⁸⁰ <https://blogs.ei.columbia.edu/2020/01/20/ozone-depleting-substances-arctic-warming/>
<https://www.newsweek.com/banned-ozone-destroying-substances-arctic-warming-1483037>

⁸¹ 例えば温室効果ガスの放射強制力を比較した図では、オゾン層破壊物質については、1750 年からの累積で 0.18 程度であり、CO₂ が 1.68 程度であることに比較して 1 桁少ない温室効果しか持たないことが示されている (IPCC 第五次評価 図 SPM 5、図中の「Halo-carbons」がオゾン層破壊物質に該当)

<https://archive.ipcc.ch/report/graphics/index.php?t=Assessment%20Reports&r=AR5%20-%20WG1&f=SPM>

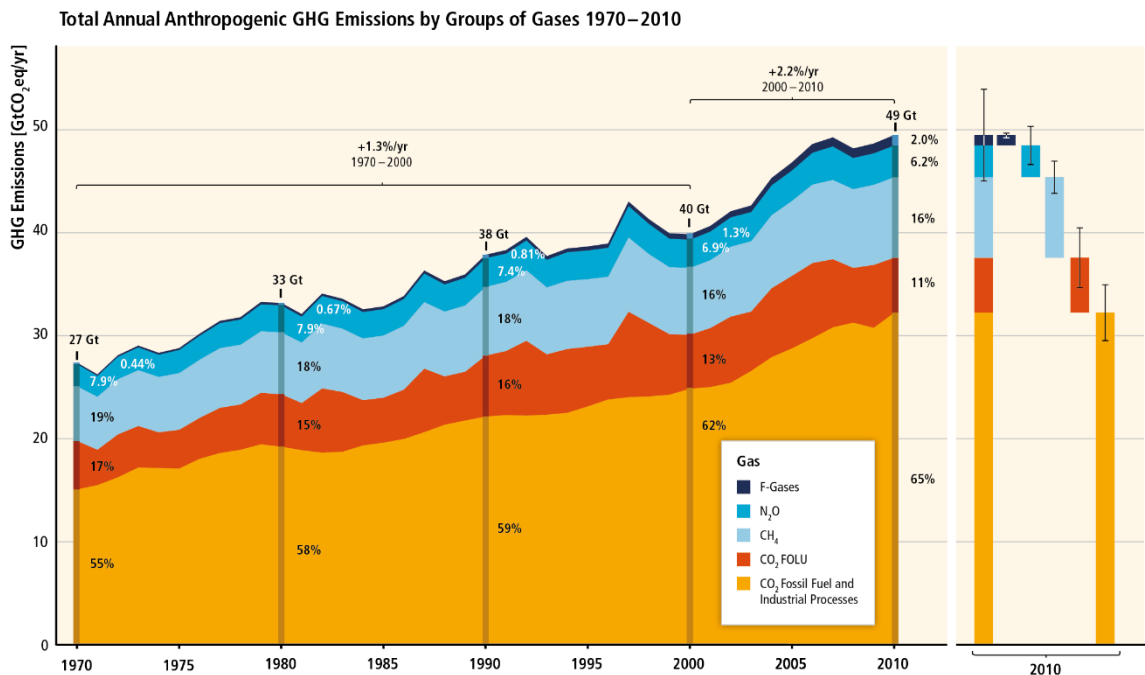


図 2-12 世界全体の温室効果ガス排出量の推移を示す IPCC の図。オゾン層破壊物質が除外されている。なお図中で F-Gases とあるのは、ODS ではなく、オゾン層保護条約で対象となっていないフロンガスである。IPCC 第五次評価報告書 図 SPM 1 ⁸²

論文の概要

同論文では、ODS 排出が急激に増加した 1955 年から 2005 年の間で見ると、オゾン層破壊物質が地球温暖化にもたらした効果は大きかった、ということを示した。

方法としては、

A. ベースライン

1955 年を起点として、ODS の歴史的な排出量推移に基づいて計算した 2005 年の地球の気候

B. 「ODS なかりせば」の場合

1955 年を起点として、ODS の濃度を 1955 年の時点で固定した場合の 2005 年の地球の気候

⁸²<https://archive.ipcc.ch/report/graphics/index.php?t=Assessment%20Reports&r=AR5%20-%20WG3&f=SP>

の両者を複数の数値モデルによって計算し、その差を検討した。その結果、以下の3点が分かった。

- ① 地球全体の温度上昇は、A は 0.59°C 、B は 0.39°C だった。つまり、この間の地球の温度上昇は、その3分の1が ODS の存在によるものだった。
- ② 北極圏（北緯 60 度以上）の温度上昇は、A は 1.59°C 、B は 0.82°C だった。つまり、この間の北極圏の温度上昇は、その半分以上が ODS の存在によるものだった。
- ③ 北極圏の9月の海氷域（氷で覆われた面積）の減少速度は、A は B の2倍だった。つまり、この間の海氷域の減少は、その半分以上が ODS の存在によるものだった。

なお Polvani は、このように ODS が気候に作用する因果経路としては、ODS による直接的な温室効果が主であり、オゾン層を破壊することによる間接的な効果は小さい、としている。

政策的な意味合い

これまで、IPCC では、20 世紀後半に進行した地球温暖化は、主に CO_2 等の温室効果によるものであるとされてきた。だがもしも ODS の寄与もこれまで考えられていたより大きいとなると、どのような政策的意味があるか。

まず第1に、現在、国際条約の下で実施している ODS の削減政策を加速することが正当化される。こちらの方が CO_2 削減よりも安価に出来るならば、温暖化対策として魅力的な選択肢となる。

そして第2に、20 世紀後半におきた地球温暖化への CO_2 等の寄与は少なかったことになる。すると、今後 CO_2 等の排出量を抑制する必要性もそれだけ薄れることになる。

いずれにせよ、今はまだ1つの論文が発表された段階である。今後、この理論の妥当性を巡って研究が深まることに期待したい。

3 問題だらけの環境影響評価

要約

これまで、第1段階の排出モデル、第2段階の気候モデルによるシミュレーションの問題点を見てきた。だがじつは、以下に見る第3段階の環境影響評価モデルによるシミュレーションこそが、最も問題がある。

頻繁に見られる問題点として、少なくとも以下がある。

- ・ 現実を大幅に単純化したモデルを用いている。
- ・ モデルが検証されていない。そもそも現状や過去が再現できない。
- ・ 地球温暖化には良い側面もあるのに、悪い側面だけを取り上げる。
- ・ 不確かな予測であるのに、確かであるかのように発表される。

- ・ 僅かな影響が、重大なことのようになり、針小棒大に報じられる。
- ・ ことさらに被害を強調する「政治的に正しい温暖化研究」が横行する。
- ・ 経済成長と技術進歩によって防災水準が向上し続け、人的被害が激減する傾向を無視している。
- ・ 非現実的に高い排出シナリオを用いて検討されている。
- ・ ばらつきの大きい気候モデル予測の中から、被害が大きくなるものを取りだして行われる。
- ・ 複数の排出モデルと気候モデルの予測に基づく論文であっても、メディア発表となると、その「最悪シナリオ」だけが取り上げられる。

以下、主な結論を先取りして纏めておこう。

将来の気温上昇は、不確かでチューニングされたモデルによる予測である。だが仮にその予測の最悪の場合を辿って、かなり気温が上がったとしても、さほどの悪影響があるとは思えない。

熱中症が増えると言われるが、実際には、気温が上がると通年での日本の死亡リスクはむしろ減少するはずだ。日本では寒さで亡くなる人の方が多いからだ。

農業への影響も心配はない。過去にも地球温暖化が約1℃あり、都市ではこれに都市熱が1～2℃加わってきた。東京では3℃も上昇した。だが農業は繁栄しており、作物が育たなかったなどということは無い。悪影響が大きいとする予測はあるが、それは気温が上昇しても農業活動は適応してしまうという、歴史的には証明済みの農業の適応能力の高さを、モデルでは把握できていないからだ。

台風や豪雨については、モデルが現在の降水分布やエルニーニョ現象すら正確に再現出来ていないことを反映して、将来予測も不確かである。台風や豪雨が「強くなる」というモデルもあれば「強くならない」というモデルもある、というのが現状である。

仮にありうる「最悪シナリオ」を辿って豪雨が増えるとしても、日本人が経験したことのないような未曾有の雨が降る訳では無い。東日本であれば2100年頃に西日本並みに雨が強くなる程度と試算されており、防災が出来ない訳では無い。それに台風、豪雨の何れについても、防災水準の向上によって、人的被害は激減し続けてきた。今後も地球温暖化の有無にかかわらず防災の努力は必要だが、将来を悲観する必要は無い。

以下に詳しく見ていこう。

温度上昇で死亡率はむしろ減るはずである。⁸³

東京の温度は過去 100 年で約 3℃上がった。都市熱で約 2℃、地球温暖化で約 1℃で合計 3 度である。だが我々は、何不自由なく暮らしている。平均寿命は伸びているし、都心で快適に暮らしている高齢者は沢山いる。この程度の温度上昇であれば、我々は単に慣れてしまうのだ。だから、今後温度上昇があるといっても、それほど怖れることはない。更には言えば、冬の寒さはやわらぎ、だいぶ暮らしやすくなったであろう。

熱中症は地球温暖化のせいなのか？

だが「政府報告書概要」は夏の熱中症だけを取り上げて、地球温暖化には悪影響がある、としている。そこでは、熱中症による死者数が増加しているとして（図 2-13）、「熱中症は・・・気候変動との相関は強いと考えられています」と纏めている。

しかしながら、このだけを見ると、本当に温暖化とどの程度相関が強いのが分からない。ヒントを求めて、「政府報告書概要」で引用している環境省の「熱中症環境保健マニュアル」を見ると、図 2-14 がある：

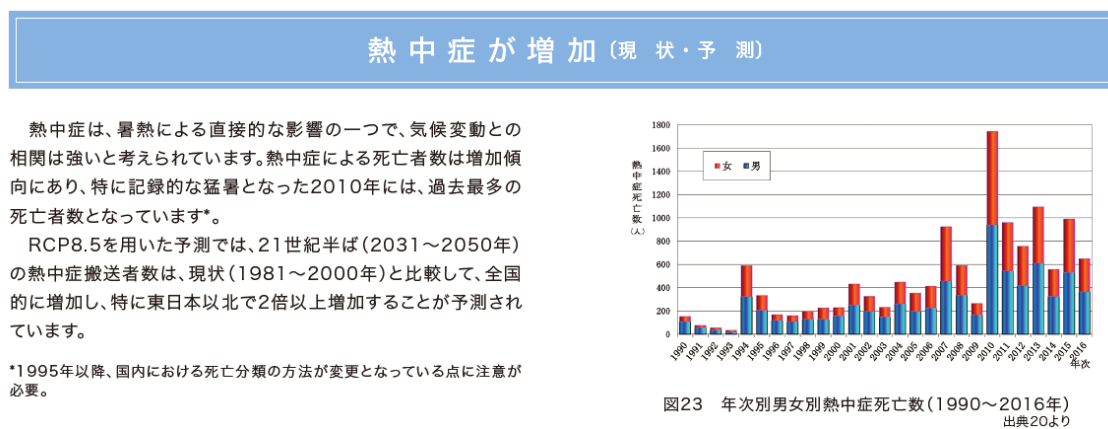
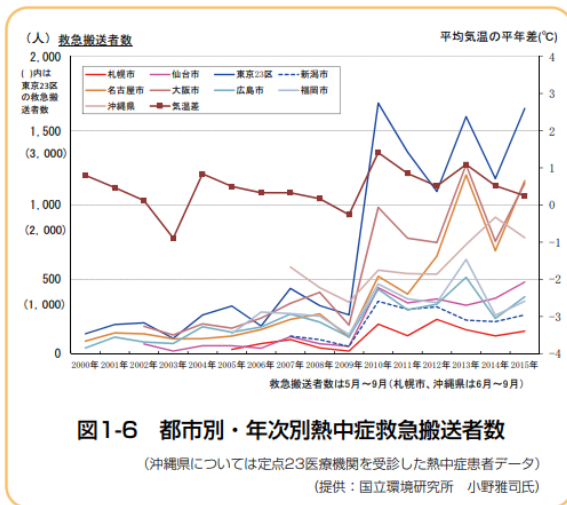


図 2-13 「熱中症が増加」（政府報告書概要）

⁸³ 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/2019/05/sugiyama190515/> ; <http://ieei.or.jp/2018/09/sugiyama180906/> ; 猛暑は地球温暖化のせいなのか？ <http://ieei.or.jp/author/sugiyama-taishi/>



また、図1-6に、東京都および主な政令指定都市等の2000年から2015年までの救急搬送された熱中症患者数を示しました。熱中症患者の発生は、高温の日数が多い年や異常に高い気温の日が出現すると発生が増加すること、ここ数年、特に2010年以降、大きく増加していることがわかります。

図 2-14 都市別・年次別熱中症救急搬送車数⁸⁴

これを見ると、2010年以降の熱中症の増加は、単に統計上の分類の変化の問題に過ぎないのではないかと、思えてくる。というのは、2000年から2015年までの間は、トレンドとしては温度は殆ど上昇していないのに、2010年以降は明白に熱中症による救急搬送人数が増えているからである。

2010年以降だけを見ると、確かに暑い年の方が救急搬送人数が多いから、暑さと熱中症にある程度の相関はありそうだ。しかしその相関よりは、2010年以降、熱中症という「症状」が社会に認知され、救急搬送や死亡分類にもそれが反映されるようになったことの方が、2010年以降に何故熱中症が増えたかという説明としては妥当に思える。

以上の推察が仮に正しくないとしても、「政府報告書概要」のような図だけを出して、熱中症が増加しており、それが地球温暖化によるものである、と匂わせるような纏めをすることは全く不適切である。熱中症が増加している理由を分析して明らかにすべきである。それには、少なくとも、統計方法に加えて、都市化、高齢化、地球温暖化以外の理由による気候変動等があるだろう。

⁸⁴環境省 熱中症環境保健マニュアル 2018

http://www.wbgt.env.go.jp/pdf/manual/heatillness_manual_full_high.pdf

地球温暖化すれば猛暑は増えるのか

以下、政府報告書を離れて、地球温暖化の健康影響について、しばらく検討しよう。

温度が上昇すれば猛暑が増えるというのは論理的にはホントである。図 2-15 a)はその概念図。気温を横軸にして、頻度を縦軸にする（ここでの気温は、日平均気温、年平均気温、日最高気温など何でもよい）。地球温暖化により、はじめ実曲線で分布していたものが、点曲線のようにシフトしたとしよう。ある一定の温度より高くなる頻度（赤く塗ってある裾の部分）は、少し気温の平均値が高くなっただけで、かなり大きくなる。このことがよく、200年に一度の事象が、100年に一度になったり、50年に一度になったりする、と表現される。

ただし、過去については、前述したように、地球温暖化はこの30年で0.2℃程度であるから、体感できるようなものではない。体感できるような猛暑の増加があったとすれば、その原因は、自然変動か、都市熱等である。

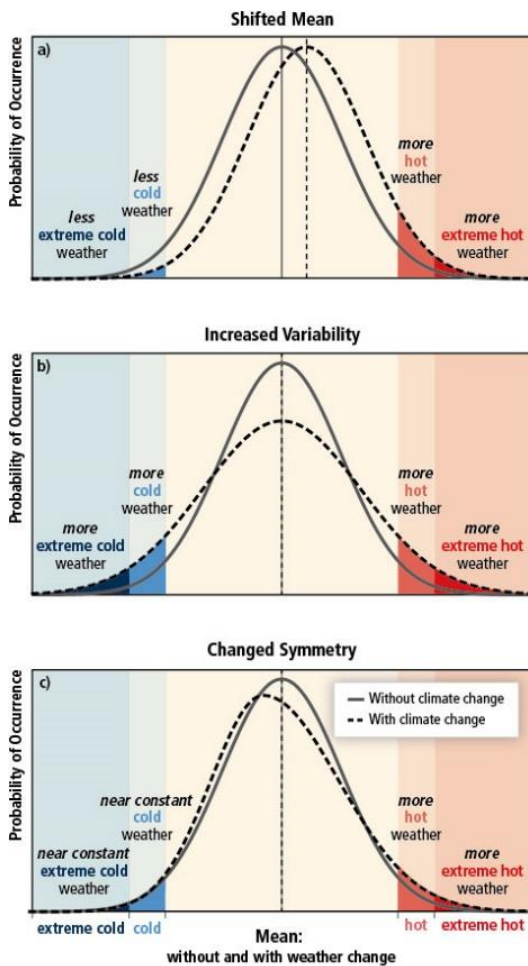


図 2-15 気候変動と異常気象の関係

IPCC SREX report, Figure SPM.3 <http://www.ipcc.ch/report/srex/>

寒い日は減るので、異常気象が増えるとは言えない。

ところで、同じ図 2-15 a) から分かることは、地球温暖化によって異常に寒い日は減る。だから、暑い方の増大と寒い方の減少が差し引きされて、異常気象は全体として増えるわけではない。なお図 2-15 b) や図 2-15 c) のように地球温暖化によって頻度分布の形が大きく変わるならばこの限りではないが、そこまで精密な議論は今のところ誰も出来ていないと思う。(なお前述したように、GCM によるモデル計算では観測よりも極端に暑い日や寒い日の日数がかかり多く出る癖がある。過去の再現に失敗している以上、将来について予言することについての信頼性は低いだろう)。

寒さによる死亡のほうが遥かに多い

それでは、地球温暖化によって、死亡率はどう影響を受けるか。政府報告書は熱中症の増加ばかりを書いている。だが他方で、寒さが和らぐため、むしろ通年での死亡率は下がる、と考える方が常識に合う。実際にこれを統計的に示した医学誌 *Lancet* の論文を紹介する⁸⁵。東京では、通年の超過死亡のうち、寒さによるものが 9.81% に上るのに対して、暑さによるものは 0.32% しかない。換言すれば、寒さで死ぬ人は、暑さで死ぬ人の 30 倍も居る。

同論文によると、東京についての結果は以下の通りになっている。

- ① 東京において、日平均気温で見ると、最も死亡率が低い「最適気温」は、26°C と高い。
- ② 東京において、大半の日 (86% の日) はこれよりも寒く、通年では、「寒さによる超過死亡率」の方が、「暑さによる超過死亡率」よりもはるかに大きい。
- ③ 「極端に暑い日」と「極端に寒い日」の超過死亡率は確かに高い。しかしそのような日数はさほど多くないので、年間を通じての死亡率に及ぼす影響は少ない。

以上の結論は、世界各地でほぼ同じ傾向だった。図で説明しよう。

図 2-16 は、東京における日平均気温と相対死亡リスク (Relative Risk, RR。左軸) の関係である。ピンクのヒストグラムは年間の日平均気温の分布。曲線は相対死亡リスクであり、26°C で最低になり、それより寒くても暑くても相対死亡リスクは高くなる。極端に暑い日

⁸⁵ Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., ...Armstrong, B. (2015). Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *The Lancet*, 386(9991), 369-375.

[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0)

[https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(14\)62114-0/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(14)62114-0/fulltext)

(30°C以上、縦破線の右)と寒い日(3°C以下、縦破線の左)の死亡リスクは高いが、日数が少ないことが分かる。(なお「極端に寒い」は気温分布の2.5パーセンタイル以下、「極端に暑い」は97.5パーセンタイル以上としている)。曲線とRR=1.0の直線の間挟まれた面積が、暑さ・寒さによる死亡リスクの増分に相当する。最適気温が26°Cと高いため、寒さによる超過死亡に相当する面積が圧倒的に大きくなることが読み取れる。(なお右軸はこの論文の分析で対象となった死者数で、相対死亡リスクに比例する)。

地球温暖化による影響については、同論文では定量化はしていないが、図1を見ると、殆どの日(年間の86%の日)が「最適気温」である26°C以下だから、平均気温が上昇することで、年間の死亡率が減少することが想像できる。

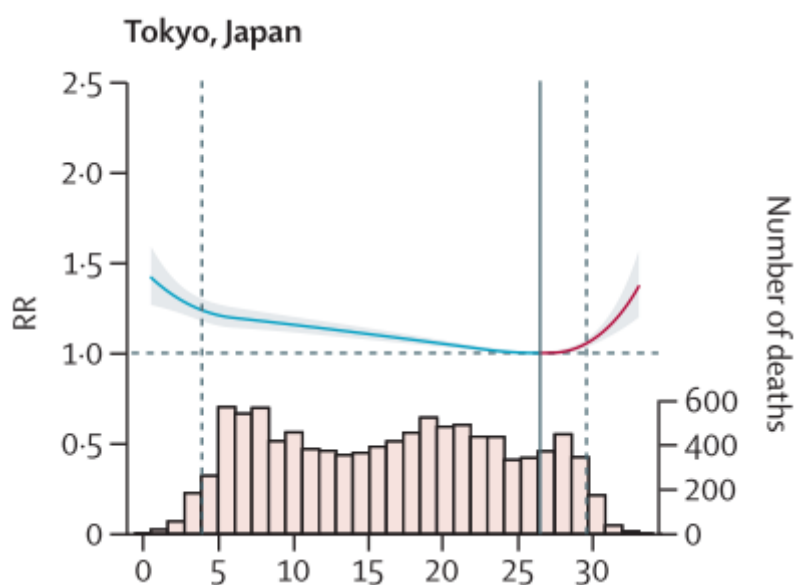


図 2-16 東京における日平均気温と死亡リスク(Relative Risk, RR)の関係。

図 2-16 を基に、暑さ・寒さによる相対死亡リスクの増分を全年で計算し、世界各地について示したものが図 2-17 である。

この図では、極めて暑い(extremely hot)、やや暑い(moderately hot)、やや寒い(moderately cold)、極めて寒い(extremely cold)の4つに分けて関連する死亡リスクを示している。世界各地に共通して、最も死亡率の増大に寄与するのは「やや寒い」時期である。東京については、寒さによる死亡(=きわめて寒いとやや寒いの和)は全体の9.81%であるのに対して、暑さによる死亡(=きわめて暑いとやや暑い)の和は全体の0.32%しかない。⁸⁶

⁸⁶ 数値は同論文の Table 2 による。

この寒い時期の死亡率の増大は、呼吸器系疾患、循環器系疾患等によるものと考えられている。これは日本人の直感にも合っているだろう。秋寒くなると人々は風邪をひいたり、脳卒中を起こしたりする。これは春になって暖かくなると収まってくる。

論文の著者は、気温と死亡率の関係についての既往の研究は、「地球温暖化への関心から、極端に暑い日の死亡率増大について偏って焦点を当てていた」、と指摘している。そして「やや寒い日」を含めて通年での超過死亡率に着目した研究が重要であると述べており、医療・保険の公共政策も、地球温暖化への適応政策も、そのような知見の充実を踏まえるべきだ、としている。

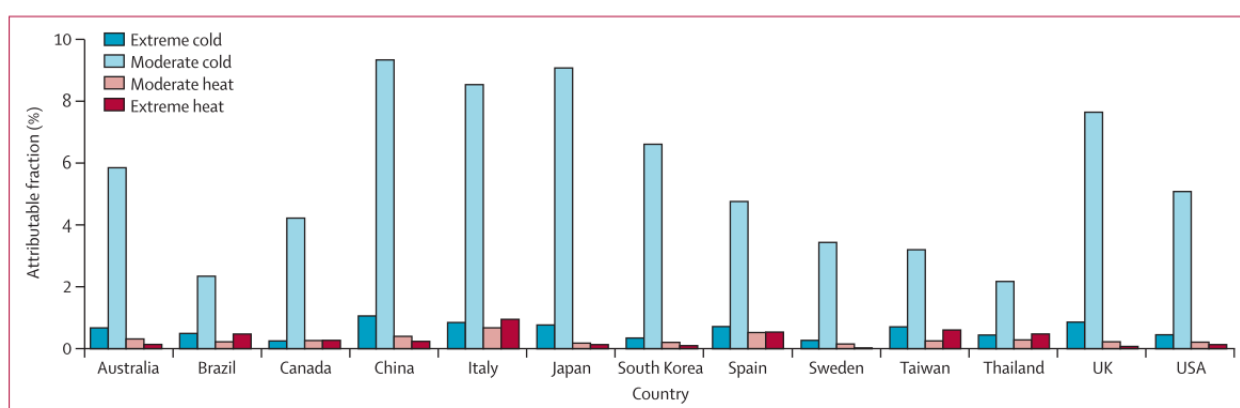


Figure 2: Fraction of all-cause mortality attributable to moderate and extreme hot and cold temperature by country
 Extreme and moderate high and low temperatures were defined with the minimum mortality temperature and the 2.5th and 97.5th percentiles of temperature distribution as cutoffs.

図 2-17 世界各地における暑さ・寒さによる死亡リスクの増大。

仮に「最悪シナリオ」の温度上昇であっても適応できる

温度上昇については前述した「最悪シナリオ」(IPCC RCP8.5 シナリオ)での試算が発表されている。「最悪シナリオ」での排出量は非現実的に高いものであり、また、気候モデルは不確かなもので、従って、以下で示す高い温度上昇の予測も不確かなものである。だがここで言いたいことは、もしも仮に、この予測を額面通り受け取って極めて高い温度上昇が起きると想定しても、それでもなお適応することは十分に可能だ、ということである。

政府報告書では、将来の温度上昇は表 2-1 のように予測されている。

表 2-1 地域別の平均気温(年間)の変化

表 2.3.2 地域別の平均気温（年間）の変化

(°C)	全国	北日本 日本海側	北日本 太平洋側	東日本 日本海側	東日本 太平洋側	西日本 日本海側	西日本 太平洋側	沖縄・ 奄美
RCP2.6	1.1 (0.5-1.7)	1.2 (0.5-1.9)	1.2 (0.5-2.0)	1.1 (0.5-1.8)	1.1 (0.4-1.8)	1.1 (0.5-1.7)	1.1 (0.5-1.7)	0.9 (0.4-1.3)
RCP4.5	2.0 (1.3-2.7)	2.2 (1.5-3.0)	2.3 (1.5-3.0)	2.0 (1.2-2.8)	1.9 (1.1-2.7)	1.9 (1.2-2.6)	1.9 (1.1-2.6)	1.6 (1.1-2.2)
RCP6.0	2.6 (1.6-3.6)	2.7 (1.6-3.8)	2.8 (1.6-3.9)	2.5 (1.5-3.5)	2.5 (1.6-3.4)	2.4 (1.5-3.3)	2.4 (1.5-3.3)	2.0 (1.3-2.7)
RCP8.5	4.4 (3.4-5.4)	4.7 (3.6-5.8)	4.8 (3.8-5.9)	4.3 (3.3-5.4)	4.3 (3.2-5.3)	4.1 (3.1-5.0)	4.0 (3.1-5.0)	3.3 (2.5-4.1)
(9ケースの 不確実性)	4.4 (3.4-5.4)	4.8 (3.7-5.9)	4.9 (3.8-6.0)	4.3 (3.3-5.4)	4.2 (3.2-5.3)	4.0 (3.1-4.9)	4.0 (3.0-4.9)	3.3 (2.5-4.0)
参考都市例	-	札幌	釧路	新潟	東京	福岡	大阪	那覇
上記都市の 平年値	-	8.9	6.2	13.9	15.4	17.0	16.9	23.1

(出所： 「政府報告書」)

これを見ると、東京の年間平均気温は現在 15.4°Cであり、これが最悪ケース（きわめて温度上昇が急激に進む場合）の RCP8.5 で 2100 年に 4.3°C上昇する。となると 19.7°Cであるが、これは大阪と那覇の間になる。まず大事なことは、東京は今より暑くはなるが、人間が普通に住めない温度では無い、ということだ。

我々は様々な温度に適応して生きている

人間は 4 万年前にアフリカを出て以来、さまざまな気候に適応して生きてきた。日本国内でも、県によって温度は随分と違う (図 2-18)。世界だと、この開きはもっと大きくなる (図 2-19)。

東京の今の年平均気温は 15.8°Cである。仮にこれがあと 3°C上がれば 18.8°Cになる。これは現在の鹿児島島の 18.6°Cに近い。ところが世界には 20°C以上のところは沢山ある。いま長寿の世界 1 位と 2 位の国は香港とシンガポールで、どちらも大変に暑い。ベルリンは過去 100 年で 2°C温暖化したそれでも東京より 7°Cも低い。もっと暖かくなった方が住み易そうだ。

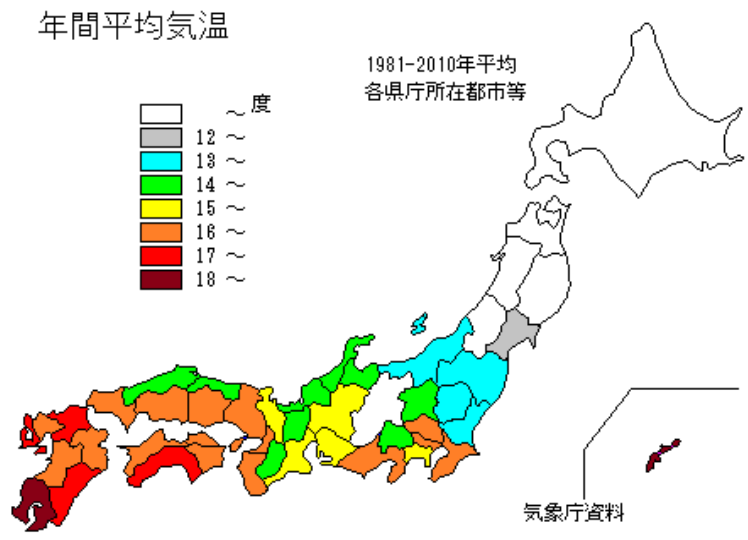


図 2-18 日本の県別平均気温⁸⁷

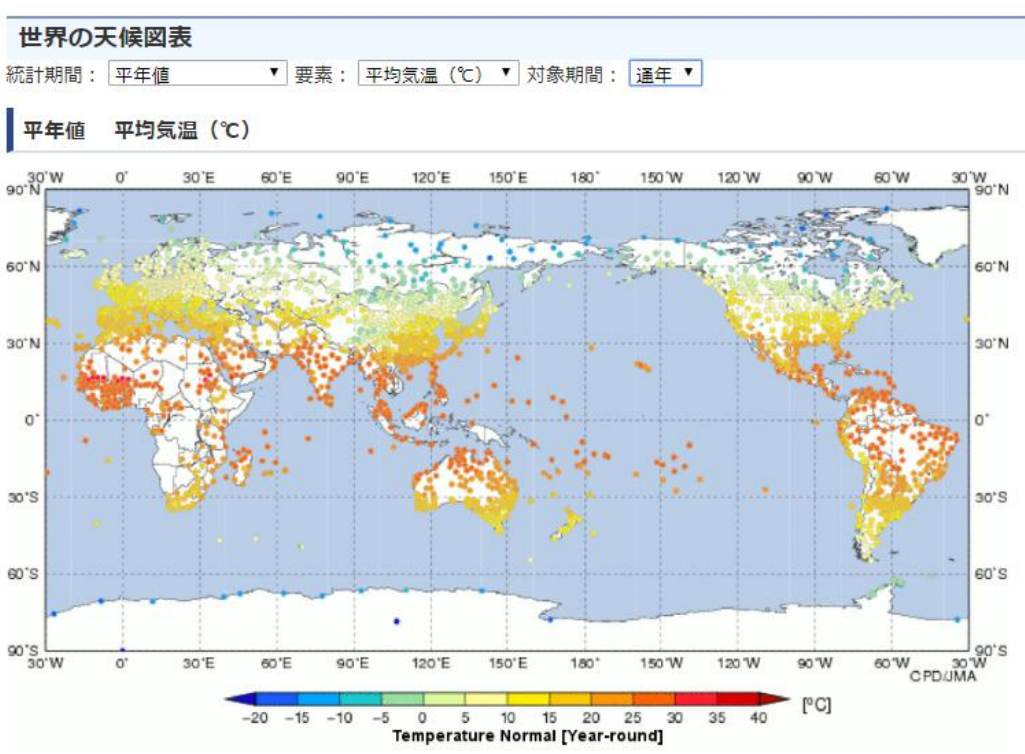


図 2-19 世界の年平均気温の分布⁸⁸

⁸⁷ <http://ww3.ctt.ne.jp/~seijiham/butai/shizen/kisho/kishmain.html>

⁸⁸ <https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/monitor/climfig/?tm=monthly&el=TanmMIn>

政府報告書は猛暑日の増加ばかりを取り上げている

平均気温だけではなく、猛暑日が増大することは健康上のリスクとなる。だが寒い日が減ることは、それ以上に大きな便益をもたらすであろうことは既にみた。だが政府報告書を見ると、猛暑日の増大ばかりを取り上げていて、大変に偏った扱いになっている。

政府報告書概要（図 2-20）では、地球温暖化に伴って、暑い日が増加すると予測している：「RCP8.5 シナリオを用いた予測では、21 世紀末の猛暑日の年間日数も増加し、特に沖縄・奄美では、年間で 54 日程度増加することが予測されています」、と纏めている（なお、前述したように、RCP8.5 は「最悪シナリオ」であり、予測は 2100 年頃についてのものである）。

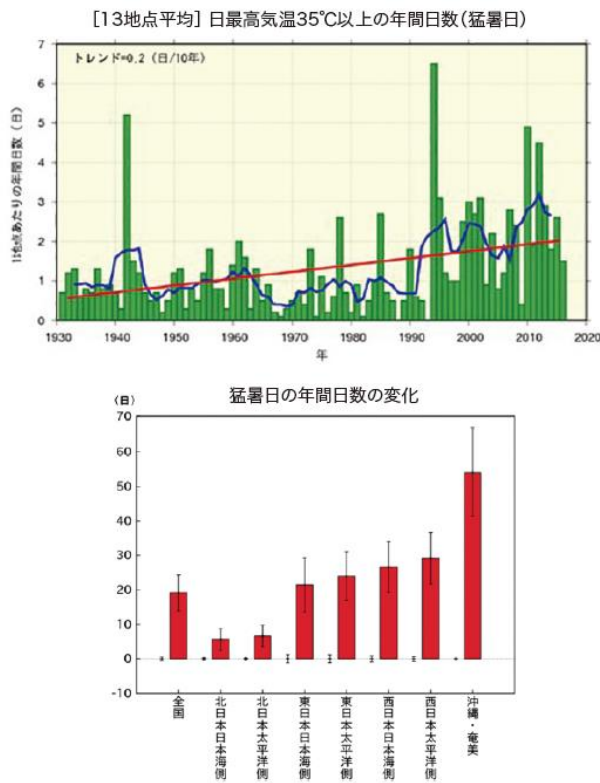


図6 猛暑日の年間日数の経年変化(上)、
猛暑日の年間日数の将来変化(下)、

上) 棒グラフは各年の値、青線は5年移動平均、赤線は期間にわたる変化傾向、
下) 棒グラフは20世紀末と21世紀末の日数の差、縦棒は年々変動の標準偏差
出典5、6より

図 2-20 猛暑日の年間日数の経年変化（上）、猛暑日の年間日数の将来変化（下）

（出所：「政府報告書概要」）

なおここで、「13 地点平均」となっているのは、都市化の影響が少ないと考えられる地点の平均をとっているからである（表 2-2）。

表 2-2 日本の年平均気温偏差の計算対象地点

（出所：気象庁レポート p30）

表 2.1-1 日本の年平均気温偏差の計算対象地点

都市化の影響が比較的小さく、長期間の観測が行われている地点から、地域的に偏りなく分布するように選出した。なお、宮崎は 2000 年 5 月に、飯田は 2002 年 5 月に観測露場を移転したため、移転による観測データへの影響を評価し、その影響を除去するための補正を行ったうえで利用している。

要素	観測地点
地上気温 (15 観測地点)	網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、飯田、鏡子、境、浜田、彦根、多度津、宮崎、名瀬、石垣島

ところで、暑い日が増える一方で、寒い日は減る。だがこれは「政府報告書概要」には書いていない。これを政府報告書概要に書いていないのは、全くバランスを欠いている。

ただし、「政府報告書」の本文には、寒い日が減ったことが書いてある（図 2-21）。そして、これは「政府報告書」にも書いていないけれども、そこで引用している気象庁資料を見ると、真冬日の減少が予測されている（図 2-22）。

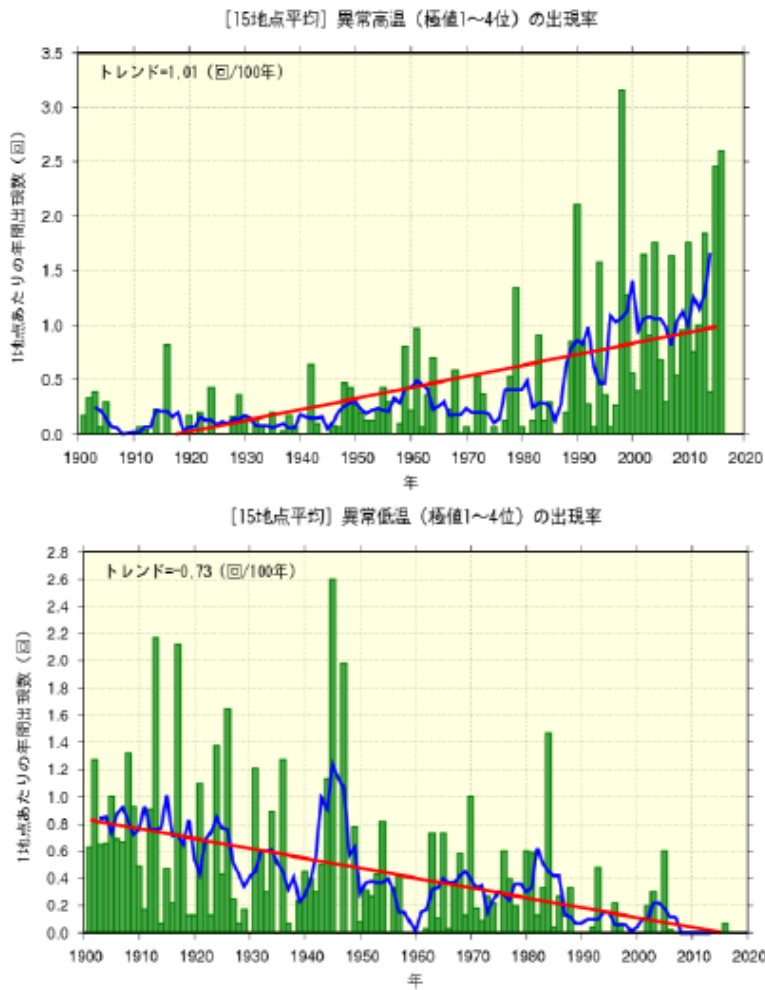


図 2.3.4 月平均気温の高い方から1~4位（異常高温、上）と低い方から1~4位（異常低温、下）の年間出現数の経年変化

1901~2016年の月平均気温の各月における異常高温と異常低温の年間出現数。年々の値はその年の異常高温あるいは異常低温の出現数の合計を有効地点数の合計で割った値で、1地点あたりの出現数を意味する。青線は5年移動平均、赤線は期間にわたる変化傾向を示す。出典：気象庁（2017e）図 2.1-4

図 2-21 月平均気温の高い方から1~4位（異常高温、上）と低い方から1~4位（異常低温、下）の年間出現数の経年変化

（出所：「政府報告書」）

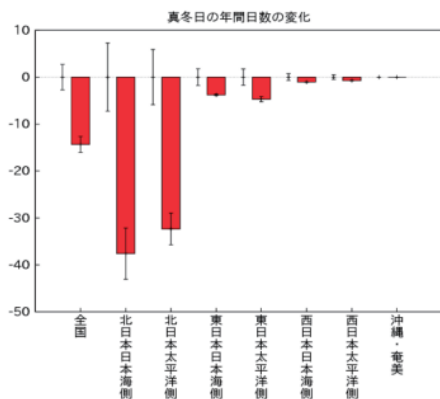


図 2-9-2 全国及び地域別の真冬日の年間日数の将来変化及び付表（単位：日）

地域	年
全国	-14.3 ± 1.7
北日本日本海側	-37.6 ± 5.5
北日本太平洋側	-32.3 ± 3.4
東日本日本海側	-3.8 ± 0.2
東日本太平洋側	-4.7 ± 0.5
西日本日本海側	-1.1 ± 0.1
西日本太平洋側	-0.7 ± 0.0
沖縄・奄美	

図 2-22 全国及び地域別の真冬日の年間日数の将来変化及び付表

（出所：地球温暖化予測情報第9巻

<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/Vo19/pdf/all.pdf>）

さてそれで、平均気温が増え、暑い日が増えることは、どの程度深刻な問題なのだろうか？

まず、死亡率についての大きなトレンドを理解しておこう。過去の地球温暖化、およびそれを上回る都市部のかなりの温度上昇にも拘らず、日本人の寿命は伸びてきた。仮に、暑い日の増加によるストレスの増加があったとしても、栄養、医療、衛生などの水準の向上のペースが遥かにそれを上回ったと思われる。日本の平均寿命の伸びを図 2-23 に示す。

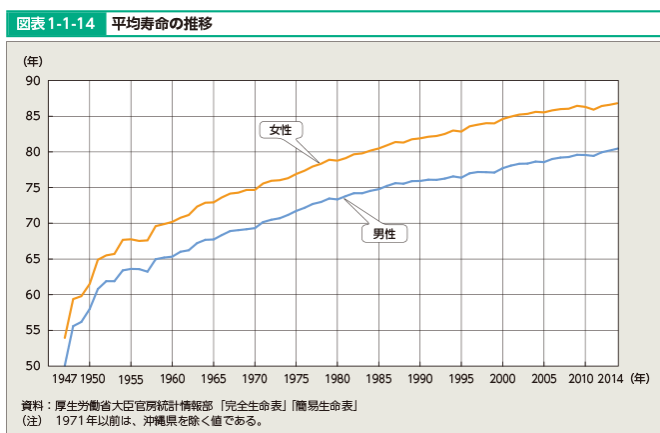


図 2-23 平均寿命の推移

（出所：厚生労働省資料⁸⁹⁾

⁸⁹⁾ <https://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/kousei/15/backdata/01-01-01-014.html>

そして、寒い日が減少したことも、寿命の伸びに貢献したと思われる。暑い日には人の死亡率は高くなるが、寒い日にはもっと高くなるからだ。これは前述したけれども、ここでは日本国内のさらに詳しいデータを図 2-24 に示す。

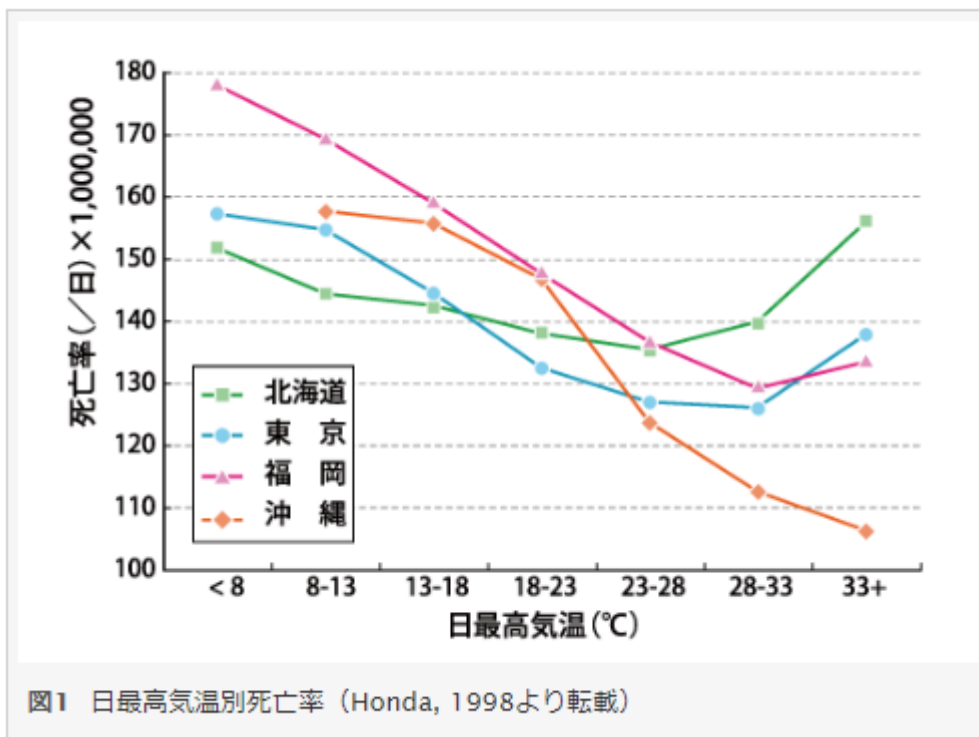


図 2-24 日最高気温別死亡率 (Honda, 1998 より転載)⁹⁰

この図を引用した国立環境研究所ホームページでは、「暑い日が増えることにより死亡者は増加すると考えられます。また、寒い日が減ることにより死亡者は減少すると考えられます。しかしながら、双方とも増減の程度については不確実性があり、トータルでどうなるかは今後きちんと評価していくことが必要」と纏めている。

これならば、政府報告書よりはまともな纏め方と言える。ただし、前述の Lancet 論文のように、超過死亡率で見ると、寒さで亡くなる人の方が暑さで亡くなる人よりも多いことが明らかになっている。

繰り返すが、「政府報告書概要」で熱中症や猛暑日の増加だけを殊更に取り上げているのは、一面的であって、不適切である。寒さが和らぐことで死亡率が下がり、この効果が暑さによる死亡率の上昇を上回るとはほぼ確実に思うが、これをまともに取り上げないことは、殊更に地球温暖化の脅威を煽り立てようという意図があると思えない。

⁹⁰ http://www.cger.nies.go.jp/ja/library/qa/9/9-1/qa_9-1-j.html

農業も温度上昇に自然体で適応してきた

では健康影響ではなく、農業への温度上昇の影響はどうか。

「政府報告書概要」では、高温によって作物の品質が低下したといった事例や、その将来予測が紹介されている。

だがここで重要な視点は、過去 100 年に日本の主要都市で起きた約 2℃から 3℃もの温度上昇に対して、我々はどのようにして適応してきたか、ということである。農家は、温度上昇が起きたことに気づくこともなく、自然体で適応してきたのではないか。

東京は、温暖化で農業が出来なくなったのではない。近郊農業は発達した。



写真 2-1

出所： 葛飾元気野菜直売所⁹¹

農家は常に市場の変化に応じ、新しい品種の開発情報を集めて、絶えず作物を変えてきた。東京でも、多様な作物を育てている。トマト、きゅうり、ナス、枝豆、大根、じゃがいも、筍、きゅうり、いんげん、白菜、大根、ねぎ、かぶ、みかん……等々。

もしも東京の農家に「100 年間に 3℃という急激な温暖化への適応は大変だったでしょう」と聞いたら、たぶん、「はあ?」と聞き返されるだろう。

農家としては、そんなことはお構いなしに、日々売れる作物をつくってきただけだ。その過程で、おそらくは温暖化にも知らないうちに適応してしまったということだ。

暑い夏でもよく育つ作物が選ばれるようになったのであろう。霜害に弱い作物も最近では育てるようになったかもしれない。

⁹¹ <http://www.city.katsushika.lg.jp/tourism/1000066/1004931/1005005.html>

農家としては、地球温暖化等よりも、宅地への転用による収入とか、固定資産税とか、農産物輸入自由化、ブランディングなどのほうが遙かに重要事項だったに違いない。

もちろん、100年前と同じ作物を同じ場所で同じ技術で育てれば、気象条件は変わっているから、うまく育たない場合があるかもしれない。だがそんなことをやって困っている農家というのは、聞いたことがない。

未来のシミュレーションよりも、過去の適応実態を研究せよ

政府報告書では、地球温暖化への適応を進めるための「適応計画」や「適応ビジネス」にも言及している。

適応の取組が始まっている

「気候変動の影響への適応計画」の閣議決定

これまで見てきたように、気候変動の影響は、既に日本を含む世界の様々な地域・分野で現れています。今後、温暖化の程度が増大すると、深刻で広範囲にわたる不可逆的な影響が生じる可能性が高まるといわれています。このため、温室効果ガスの排出の抑制等を行う「緩和」だけでなく、既に現れている影響や中長期的に避けられない影響に対して「適応」を進めることが求められています。我が国では、気候変動の影響に対処するため、政府全体として

整合のとれた取組を計画的かつ総合的に推進するため、平成27年11月、政府として初の「気候変動の影響への適応計画」が閣議決定されました。

適応計画では、目指すべき社会の姿等の基本的な方針、基本的な進め方、分野別施策の基本的方向、基盤的・国際的施策等が示され、これに基づき、現在、各種の具体的な取組が進められています。

温暖化に対応した農作物の導入

農業の分野では、気温の上昇によって新たに栽培できるようになる亜熱帯・熱帯作物の導入や転換、産地の形成等、温暖化に対応した取組が始まっています。

愛媛県では、南予地域で夏場の高温にも強いブラッドオレンジの一つである「タロッコ」を導入しました。栽培面積、生産量とも拡大し、市場で高い評価を受けています。その他、愛媛県松山市の島しょ部や海岸部では、アボカドを導入している地域もあります。



図26 愛媛県におけるタロッコの導入(左)、アボカドの導入(右) 出典:9, 22より

気候変動を見据えた適応ビジネスの動き

最近では、気候変動をビジネスチャンスと捉えて活動をはじめている例も多数見られるようになってきています。

例えば、農業支援サービスや災害リスクを予測・評価するサービス、屋外作業員の熱ストレスを管理するサービス等、ICT技術を活用したサービスの提供、建物や居住空間の暑熱環境・快適性を向上させる技術や、異常気象による損害を補償する天候デリバティブ等の金融商品を扱ったビジネス等が展開されています。

	農業	●ICT技術により農圃に必要な気象情報等を配信、適宜、対応する農業サービスの提供
	自然災害	●洪水による農水区域や建物等への浸水リスクを予測、評価する技術の開発 ●洪水・集中豪雨対策を盛り込んだビル・建物の設計・施工サービスの提供
	健康	●暑による健康被害を防ぐための設備の開発と国での展開
	産業・経済活動	●デジタルリテラシー等の開発投資をバックアップする金融商品の提供 ●ICT技術を活用した屋外の労働環境の熱ストレス軽減サービスの提供
	国民生活・都市生活	●ビル・建物の室内・屋外の暑熱環境も改善する技術・設備の開発 ●暑熱への適応プログラム・ソフトウェアを開発した応用ソフトウェア

表1 既に取組まれている適応ビジネスの例 出典:23より作成

しかしこれは、何か新しいことがあるのだろうか？ 過去、自然体で(=適応計画を立てることも、適応ビジネス振興策を採ることもなく)日本の諸都市では100年に約2~3℃も

の温度上昇に適応してきたのだから、同じく自然体で、殆どの場合は適応できてしまうのではないか？ だとすれば、温暖化の適応を名目に、政府予算が過大に使われることが、むしろ心配になってくる。

あるいは、仮に温暖化への適応が必要であるとしても、まずは過去に、どのようにして自然体で適応してきたのか、その実態を明らかにすることから始めるべきであろう。そうすれが、仮に地球温暖化が最悪シナリオを辿ったとしても、どのようにして適応していけばよいか、具体的な方法が分かるはずだ。

北極に「気候時限爆弾」は存在するのか？⁹²

地球温暖化がいったん始まると、それが加速して止まらなくなる、というシナリオは数多く提出されてきた。だがその何れも不確かなもので、次々に否定されてきた。以下ではその例として、最近の論文を紹介する。

地球温暖化によって、シベリア等の北極圏の永久凍土が融け、メタンが大量に発生することで、更に地球温暖化が加速する、という「気候時限爆弾」というシナリオが、ジェームズ・ハンセン等によって提唱されてきた（図 2-25）。

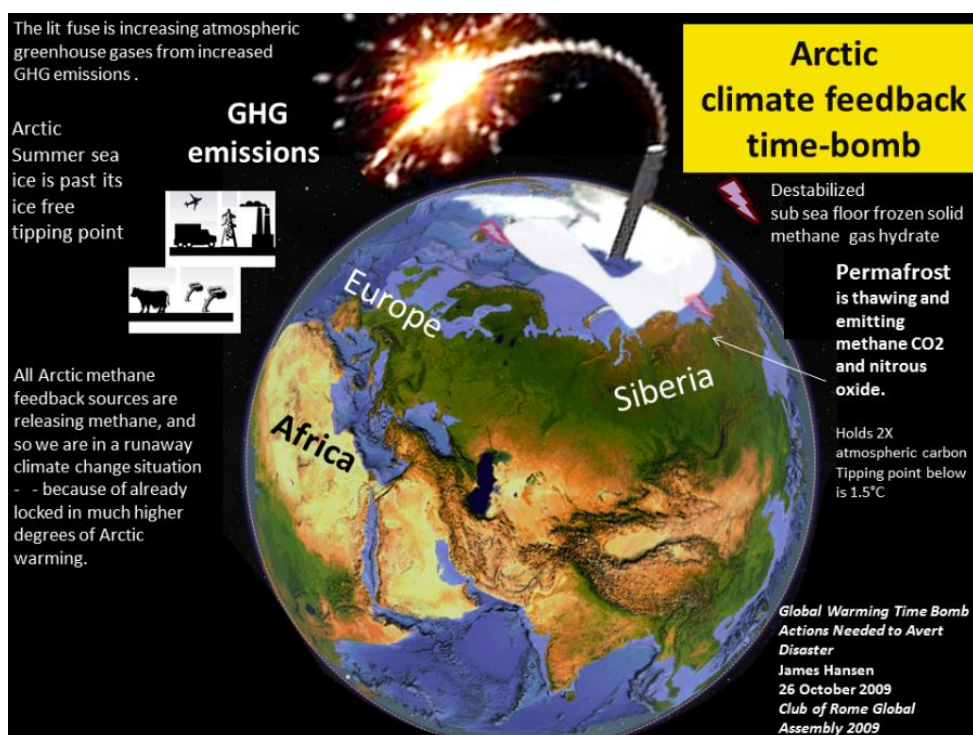


図 2-25 北極の「気候時限爆弾」シナリオ⁹³

⁹² 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/2020/04/sugiyama200430/>

⁹³ https://files.secure.website/wscfus/8154141/uploads/Arctic_carbon_bomb_13.png

しかし最近の研究で、このシナリオは起きそうにない、という結論が、過去に地球が温暖化した時期の炭素同位体分析からも⁹⁴、将来についてのシミュレーションからも得られている⁹⁵。

発表されたシミュレーションでは、最も極端に人為的な排出量が増え地球の温度が大幅に上昇する IPCC の最悪シナリオ (RCP8.5 シナリオ) においてすら、北極圏からのメタンの排出量はほぼ横ばいで推移する、という試算が示されている。

そのメカニズムであるが、土壌中には、メタンを分解してそのエネルギーを活用する微生物が存在する。大気中のメタンの濃度が高まり、また地球温暖化で温度上昇が起きると、そのような微生物の活動が活性化するために、メタンは吸収され、大気中の濃度が下がる。

このような微生物のメカニズムは、既往の地球温暖化のシミュレーション研究では、あまり考慮されてこなかった。

他の研究と同様、これらの研究にも不確実性があり、絶対に正しいという訳でも無く、今後の学界の更なる議論が待たれる。何れにせよ、地球温暖化における科学には、よく分かっておらず、研究を深めるべき課題がなお多い。

⁹⁴ 過去に地球が温暖だった時期の炭素同位体の分析は

Science 論文：

<https://science.sciencemag.org/content/367/6480/907>

UC サンディエゴ大学によるプレスリリースは

<https://scripps.ucsd.edu/news/climate-destabilization-unlikely-cause-methane-burp>

分かり易い紹介記事は

<https://www.thegwpf.com/new-study-global-warming-unlikely-to-cause-arctic-methane-catastrophe/>

⁹⁵ 将来についてのシミュレーションは

Nature Climate Change 論文：

Oh, Y., Zhuang, Q., Liu, L., Welp, L., Lau, M. C. Y., Onstott, T. C., … Elberling, B. (2020). Reduced net methane emissions due to microbial methane oxidation in a warmer Arctic. *Nature Climate Change, In Print*(April).

<https://doi.org/10.1038/s41558-020-0734-z>

Purdue 大学のプレスリリースは <https://www.purdue.edu/newsroom/releases/2020/Q1/purdue-study-downgrades-arctic-methane-emissions-thanks-to-soil-microbes.html>

分かり易い紹介記事は

<https://climaterealism.com/2020/03/895/>

地球温暖化で豪雨と台風は激甚化するのか⁹⁶

猛暑の次は、豪雨と台風の話に移ろう。

地球温暖化で豪雨が増える可能性は、理論的には存在する。

これは、温度が高くなると、大気中に含まれる水分の量（正確には飽和水蒸気量）が多くなるという関係（クラウジウス・クラペイロンの式と呼ばれる）があるためである。

モデルの予測はばらついている⁹⁷

だが、前述したように、気候モデルは雲の形成や降水のプロセスについては再現性があまりよくない。従って、降水量についてもあまり再現性がよろしくない。このことを反映して、将来のシミュレーション予測も随分とばらついている。

豪雨について、IPCC は、大括りなまとめとしては「地球の温度上昇に伴って、全般に降水量が増え、それに伴って豪雨も増える」としている。⁹⁸

しかし詳しく見ると、降水量の将来予測については、モデルによって随分と違う。図 2-26 を見ると、陸上の降水量については、1°C温度が上がると 4%増えるという予測から、殆ど増えない（0%）という予測までである。（なお細かくなるが、RCP2.6 シナリオで分布が更に広いのは、この低排出量のシナリオでは顕著に温度が上がらず、降水量も顕著に上がらないので、シグナル・ノイズ比が低くなるためである。ここでは RCP4.5~RCP8.5 シナリオの結果を見て頂きたい。）

台風についても、IPCC はあまり歯切れの良いことは言っていない。台風は強くなるという予測もあれば弱くなるという予測もあって、ばらついている。ばらつきの要因の 1 つは、前述のように、エルニーニョなどの台風の発達に大きな影響のある地球規模の大気循環の再現に失敗していることである。そもそも、モデルは過去の台風の空間・期間的な頻度分布の再現にも失敗している。⁹⁹

政府報告書では、遠い未来についてのシミュレーション予測では、台風が強大化する、としているものがある。しかしシミュレーションには不確実性が多くあり、台風は強大化しない、と言う予測もある¹⁰⁰。従って、まずは観測事実をよく理解したいところである。過去にも約 1°Cの地球温暖化は起きたのだ。ではそれで台風は強くなったのだろうか？ 実際には、

⁹⁶ 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/2019/05/sugiyama190515/>

⁹⁷ 初出 拙稿 温暖化で豪雨は増えたのか IEEI <http://ieei.or.jp/author/sugiyama-taishi/>

⁹⁸ IPCC 2013 p7, p1032

⁹⁹ IPCC 2013 p1250

¹⁰⁰ 台風は地球温暖化によって強大化するという予測もあるが変化しないという予測もある。例えば (Vecch, Swanson, & Soden, 2008) は、ハリケーンの強さが熱帯の海面水温に依存するか、熱帯の相対海面水温（大西洋とその他熱帯地域の相対水温）に依存するか、という二通りの試算を示し、前者では台風が強くなるが、後者ではハリケーンは強くならない、としている。

前述したように、1993 年以來、何故か日本に強い台風は来なくなった。だがそれをシミュレーションで再現したという話を聞いたことがない。

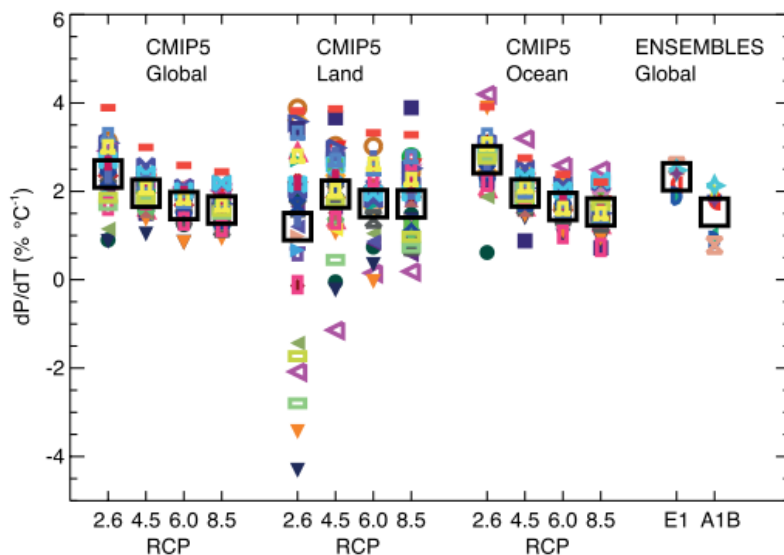


Figure 12.7 | Percentage changes over the 21st century in global, land and ocean precipitation per degree Celsius of global warming in CMIP5 model concentration-driven projections for the four RCP scenarios. Annual mean changes are calculated for each year between 2006 and 2100 from one ensemble member per model relative to its mean precipitation and temperature for the 1986–2005 baseline period, and the gradient of a least-squares fit through the annual data is derived. Land and ocean derived values use global mean temperature in the denominator of $\delta P/\delta T$. Each coloured symbol represents a different model, the same symbol being used for the same model for different RCPs and larger black squares being the multi-model mean. Also shown for comparison are global mean results for ENSEMBLES model concentrations-driven projections for the E1 and A1B scenarios (Johns et al., 2011), in this case using a least-squares fit derived over the period 2000–2099 and taking percentage changes relative to the 1980–1999 baseline period. Changes of precipitation over land and ocean are discussed in Section 12.4.5.2.

図 2-26 降水量のモデル予測。縦軸は地球平均気温の 1℃上昇あたりの降水量の変化量。左から 2 つ目が陸上 (land) で、モデル (カラーの記号) によって結果が大きく異なっている。RCP2.6 から RCP8.5 とあるのは排出量シナリオ。黒い四角 (□) は IPCC に参加した諸モデルの平均値。¹⁰¹

最悪シナリオでも適応可能な範囲にある

政府報告書は「最悪シナリオ」に基づいた豪雨の増加の試算をしている。この「最悪シナリオ」(=RCP8.5) は、非現実的に排出量の多いシナリオで、しかも気候モデルの予測は不

¹⁰¹ IPCC 2013 Figure 12.7

確かである。だが、それらを用いたシナリオであっても、決して人類が経験したことが無いような未曾有の雨が降るという予測になっている訳では無く、十分に適応できる範囲にある。以下に示そう。

強い雨についての「最悪ケース」の将来予測が「政府報告書」にある（図 2-27）。

② 短時間強雨

RCP8.5 シナリオを用いた予測では、日本の 21 世紀末における 1 時間降水量 30mm 以上の短時間強雨（バケツをひっくり返したように降る雨）及び 1 時間降水量 50mm 以上の短時間強雨（滝

のように降る雨）の発生回数は、全ての地域及び季節で有意に増加すると予測されている（図 2.4.8）。

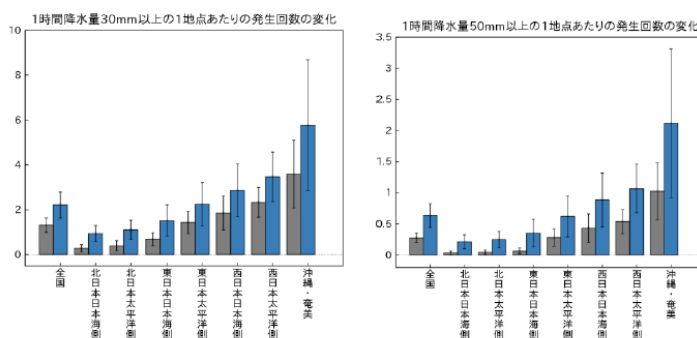


図 2.4.8 地域別の 1 時間降水量 30mm 以上（左）、1 時間降水量 50mm 以上（右）の年間発生回数の変化

非静力学的地域気候モデル（NHRCM05、解像度 5km）による地域別の 1 時間降水量 30mm 以上（左）、1 時間降水量 50mm 以上（右）の年間発生回数の変化予測（キャリブレーション済み）。棒グラフは 1 地点あたりの年間発生回数を表し（灰色：現在気候、青色：将来気候）、縦棒は年々変動の標準偏差（左：1980～1999 年、右：2076～2095 年）を示す。現在気候は観測値とは異なることに注意。RCP8.5 シナリオによる予測に基づく。出典：気象庁（2017h）図 3.3.2

図 2-27 地域別の 1 時間降水量 30mm 以上（左）、1 時間降水量 50mm 以上（右）の年間発生回数の変化

（出所： 政府報告書）

これによると強雨は「全ての地域および季節で有意に増加する」となっている。ただしこのような纏め方では、これがどの程度の危険性を孕むものなのか、さっぱり分からない。なので、読者が勝手に想像して、勝手に「危ない」と思い込めるようになっている。このような纏め方は無責任である。

改めてこの図をよく見ると、東日本で強い雨が增大するといっても、せいぜい 2100 年頃に現在の西日本並みになるだけだ、ということが分かる。ということは、東日本は、より強い雨に備えなければならないが、別に人が住めなくなるとか、未曾有の災害が起きるということではない。いまよりも防災水準を上げて、西日本並みにすれば、水害は今の西日本並みに抑えることが出来る、ということだ。しかもこれは、21 世紀末についての試算だから、まだ 80 年も後の話である。過去 80 年にどれだけ防災水準が向上したかを考えれば、時間は十分にあり、さほど怖れるような話ではない。（更に、繰り返すが、これは、RCP8.5 という「最悪シナリオ」に基づく話である。）

同様に、北日本については、せいぜい東日本並みになるだけである。西日本については、沖縄並みになるだけである。沖縄については、この図からは同様の論法は使えない。しかし、日本以外のどこか並みになる程度のことであろうと推察される。インドのアッサム地方等、日本よりも遥かに豪雨の多いところは幾らでもあるからだ。

つまり、「最悪シナリオ」においては豪雨は増えるけれども、未曾有の雨が降る訳でもなければ、防災活動による適応が不可能な訳でもない。

ある地点を特定したときに（例えば東京で）、ある水準を超える豪雨の頻度が増えるのは、この予測を信じるならば、本当である。しかしこれも、未曾有の豪雨が降るという意味ではない。

クラウドジウス・クラペイロンの式で考えても、東京は、東京よりあと 2°C 高いところと同じ頻度になるまで豪雨が増えるだけだ。東京より 2°C 以上高いところは日本にも世界にもいくらかもあるが、多くの人が住んでいる。だから、東京に、人類が経験したことのない豪雨が降る訳ではない。

地球温暖化で東京が水没するというのはウソ

地球温暖化による海面上昇のせいで、豪雨の際に東京が水没するリスクがある、とされる。東京水没のリスクは確かにある。だがこれが地球温暖化のせいだというのは行き過ぎである。

東京が水没するリスクがある最大の原因は、地球温暖化ではない。東京は、温暖化の有無とは関係なく、そもそも今でも水没危険地帯である。

利根川は今では千葉県銚子市に河口があるが、昔は隅田川・荒川・江戸川の辺りを流れていた。人間が川の流れを付け替えたのである。このため、隅田川・荒川・江戸川の辺りは、もともと氾濫原だったのだ。温暖化で海面上昇が起きるといわゆるゼロメートル地帯（海面よりも低い地帯）が増えるけれども、よく図 2-28 を見ると、実はもともとのゼロメートル地帯の方が、1m の海面上昇で増えるとされるゼロメートル地帯よりも遥かに広大であることが分かる（なお 2100 年の海面上昇は最悪シナリオで 80cm 程度と IPCC は予測しており、1m に達することは無い）。

ゼロメートル地帯が拡大した理由は、高度経済成長期に工業用の地下水の汲み上げによって、最大で 4.5 メートルもの地盤沈下が起きたことだ（図 2-29）。これでさらに水没の危険は増した。

しかしその一方で、この急激な実質的な海面上昇に対しても、人間は土木工事等で適応してしまい、東京は繁栄している。かつての地盤沈下の規模、速さに比べれば、遥かにゆっくりと進行する地球温暖化による海面上昇への適応はどうということはない。

日本の首都は 水没危険地帯



出典 (7) より

■ 海平面以下の区域
■ 1mの海面上昇で拡大する区域

図 2-28 1mの海面上昇によるゼロメートル地帯の拡大 (環境省資料) 102

■主要水準基標の累計変動量

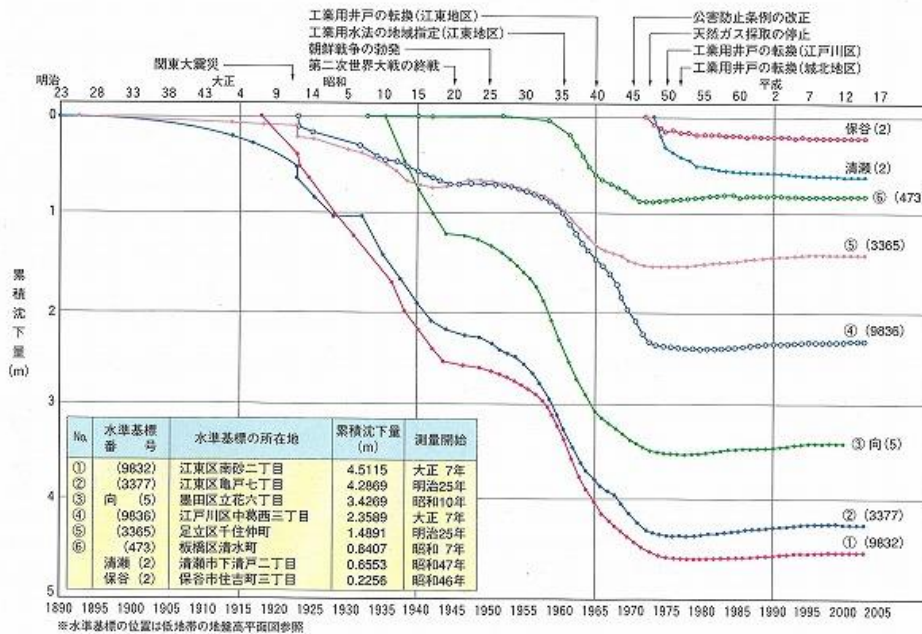


図 2-29 東京における地盤沈下¹⁰³

¹⁰² <https://www.env.go.jp/earth/cop3/ondan/eikyoku4.html>

¹⁰³ <http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/jimusho/chisui/jigyuu/teichi.html>

防災水準の向上こそが水害を防ぐ

もしも仮にシミュレーションに沿って強い雨が増加するとなると、当然、洪水などの災害が心配されることになる。しかし、過去70年について言えば、日本は地球温暖化によって約1℃上昇したにも関わらず、水害による死者数は大幅に減少してきた：

計画的な治水事業などにより、死者数は確実に減少

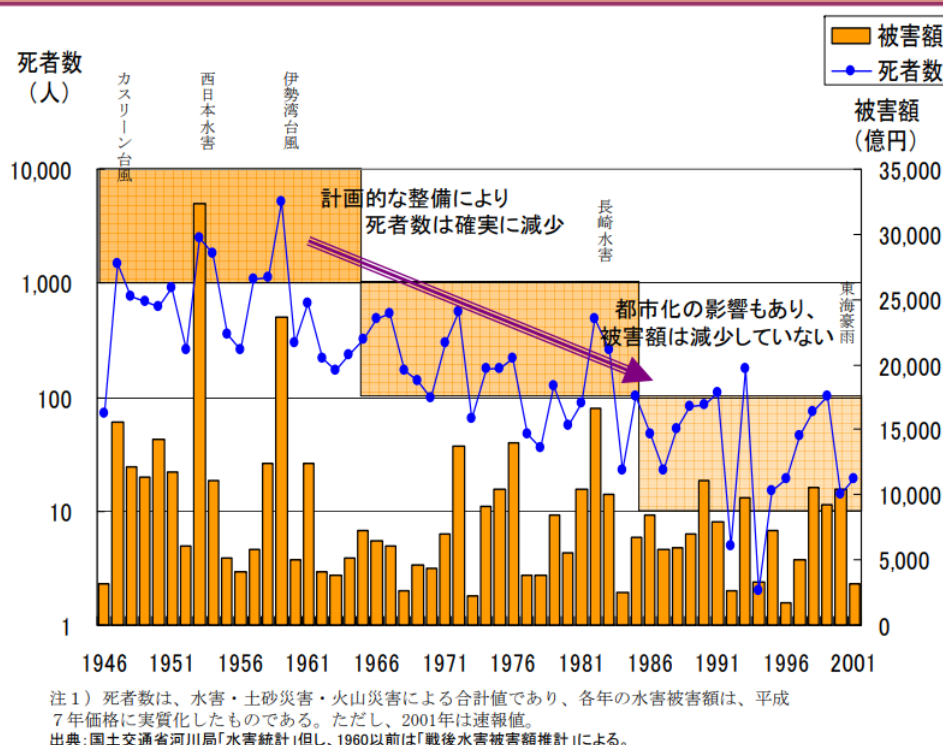


図 2-30 水害による死者数および被害額の推移¹⁰⁴

前述したように、この間、地球温暖化のせいで豪雨が増えたという証拠はない。だが仮に、強い雨が増えていたとして、それが仮に地球温暖化に起因するものであったとしても、防災能力の向上のペースの方が、それを遥かに上回ってきたのである。

今後も治水事業は進み、天気予報・警報技術は向上し、SNS等による情報提供も進歩するだろう。これは、地球温暖化がどうであれ、自然災害への備えとして重要なことである。

¹⁰⁴国土交通省 http://www.cbr.mlit.go.jp/shinmaru/101_hitsuyou/3.pdf

特に大事なことは、1993 年以來、強力台風が来なくなったことで、日本のあちこちで油断が生まれていると思われる。いつまた強力台風が頻々とやってくるような時代が帰ってくるか、我々は知らない。だからこそ、備えを怠ってはいけない。

そのような防災活動は勿論必要であるが、結果を悲観するには及ばない。今後も、防災水準が向上を続け、死者数が確実に減少する、という偉大なトレンドは継続するだろう。それは、ある程度地球温暖化が進むにしても変わらない、と見る方が妥当であろう。

政府報告書の問題点と改善案¹⁰⁵

これまで見てきた様に、政府報告書の環境影響評価には多くの問題がある。

特に深刻な問題はシミュレーションへの過度の依存であった。

過去には温暖化があり、特にそれは東京では 100 年で約 3℃と、かなり急激であった。これだけの温暖化があったのだから、過去について詳しく調べれば、今後、地球温暖化が起きた場合に、どのような環境影響があるのかは、かなりよく分かるはずである。

これこそは、地球温暖化に備えるためのナマの情報源である。シミュレーションは所詮シミュレーションに過ぎない。シミュレーションだけでは、人類の長足の技術進歩や強力な適応能力を予言することは出来ない。

実際には、過去、温度上昇による重大な被害は殆どなく、人間は単に慣れて（適応して）しまった。

人間社会の進歩（防災向上、医療・衛生・保健向上、農業市場の変化・作物の品種改良等）のペースが、温暖化によるリスクの増大（仮にあったとしても）のペースを大幅に上回ったからである。換言すれば、人間の適応能力は極めて高い。今後も、適応能力は高まる一方だから、このトレンドが大きく変わるとは思えない。

将来のシミュレーションは、最悪シナリオ(RCP8.5)における 2100 年という遠い時点を主な対象としている。だがこの極端なシナリオであっても、過去の適応能力の高さから見て、将来の影響も適応可能な範囲の中にあることが分かった。

なお、筆者は温暖化が起きないと言っているのではない。温暖化は起きるが、人間の適応能力は高く、その改善も早いので、最悪シナリオにおいてすら、結果を悲観する必要がない、ということである。

また、防災、衛生・保健、農業技術の向上などは、温暖化が起きる・起きないに関わらず、人々の幸せのために必要である。そしてそのことが、自然体での温暖化への適応の中核となる。

筆者は、環境影響の研究の必要性を否定するものでもない。地球温暖化はまだ分かっていないことが多いから、どのような環境影響があるのか、更なる研究活動が必要である。しかしどうも「政府報告書概要」も「政府報告書」も、シミュレーションに頼りすぎである。シ

¹⁰⁵ 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/2019/05/sugiyama190515/>

ミュレーションよりも、過去に、人間がどのように（殆どは自然体で）温暖化に適応してきたかを徹底して調べることにこそ、重点を置くべきである。そして初めて、地に足の着いた適応の議論が出来るようになる。

最後に、「政府報告書概要」「政府報告書」についての改善提案を指摘しておこう。

- ① **過去の温暖化にどのように適応してきたか**、その経験からよく学ぶこと。
- ② **リスクの大きさは相対的に、具体的に示すこと**。「リスクがある」「リスクが増大する」と言って終わるのは、単に「危険である」と表明するのと事実上同義になるので、無責任かつ不適切である。「将来の東京の温度が現在の鹿児島並みになる」などの形で、リスクの大きさが解るように、相対的に、具体的に説明すること。
- ③ **温暖化の好影響（＝便益）も勘定すること**。悪影響だけを殊更に取り上げるのは不適切である。
- ④ そもそもある事象が、**地球温暖化の影響によるものか否かを検証すること**。

今後、大幅な改善を関係者に期待する。

第3章 コロナ禍後の合理的な温暖化対策のあり方

前章までで、観測データに基づけば「気候危機」なるものは存在しないことを示してきた。他方で、不確かなモデルに基づく予測ではあるものの、温暖化のリスクは存在するので、一定の範囲でCO2削減策を講じることが望ましい。本章では、そのあり方を考える。

まずは環境と経済のバランスをとった、合理的な温暖化対策について、一般的に論じるところから始める。ただしこれは以前に詳しく書いたので、本稿では手短かにする。

さてコロナ禍は、温暖化対策を議論する背景を変えた。そこで本稿では、コロナ禍の教訓を踏まえて「不確実性の下での温暖化対応戦略」のあり方を改めて考えよう。次いで「コロナ禍後の経済回復と温暖化対策のバランスのとり方」を検討する。

以上の大局的・戦略的な議論を承けて、本章の後半では、具体的な技術の選択を、オムニバスの的に論じる。

コロナ禍は、デジタル技術の推進の契機をもたらしており、これは長期的な温暖化対策への布石ともなる。経済回復と温暖化対策を両立させるためには、このデジタル技術の推進が鍵となる。エネルギー政策は、それを安定・安価なエネルギー供給で支えるものでなければならない。

経済回復に際しては、「グリーン回復」という名のもとに、再生可能エネルギーなどのCO2削減技術に集中的に投資し、石炭火力などの化石燃料産業は救済すべきでない、という意見がある。しかし再生可能エネルギーは少なくとも日本では経済を悪化させるので有害である。また、日本は石炭火力を堅持しなければならない理由があることを論じる。

1 イノベーションによる地球温暖化問題の解決

筆者は以前、「イノベーションによる地球温暖化問題解決」の道筋について拙著で詳述した¹⁰⁶。コロナ禍後の温暖化対策を検討するにあたって、その基本的な考え方は全く変わらないので、以下で、まずその概要を述べる¹⁰⁷。

地球温暖化は危険なのか？

まずは、第1章・第2章を承けて、地球温暖化のリスクについて改めて総論的に述べよう。次いで、それへの対応戦略を論じていく。

欧州や日本ではいま、「2050年までにCO2ゼロエミッションを目指すべきである」、という意見が流行りである。しかし、本当にここまで極端な温暖化対策が必要なのだろうか。地球温暖化には「脅威論」と、それに対する「懐疑論」がある。何を以てこの両者の分かれ目とするかは任意だけれども、本稿では、「2050年までにゼロエミッションを目指すべき」という意見を「脅威論」、そこまで極端な対策はかえって有害だとする意見を「懐疑論」と呼ぼう。この分け方をすると、筆者は、「懐疑論」である。

なお念のため補足すると、懐疑論といっても、地球温暖化を全否定するようなものではない。地球温暖化が起きており、化石燃料の燃焼によるCO2等の温室効果ガス排出（以下、単に排出）がその原因の1つであることは確かである。

しかし、「どの程度の」地球温暖化が起きるかということは、実はよく分かっていない。地球温暖化の温度上昇の予測には計算機によるシミュレーションが用いられてきた。だがこれは、過去の自然変動すら未だ十分に再現出来ていない。そして、かつては、急激な温暖化が起きるという予測があったが、実際に起きた温暖化はそれよりも緩やかだった。最先端の科学であるからといって、予測能力が高いとは限らない。シミュレーションが将来を予測出来るためには、モデルの妥当性の検証が必要であるが、地球温暖化の予測の多くはそのような工程を経てはいない。破局的な事象の可能性もあれこれ指摘されているが、どの程度確かな情報かと言えば、IPCCの報告を見ても、よく分からない、とされているものが殆どだ。

それでも、ある程度は地球温暖化が起きるだろう。ではそれは、どの程度危険なのか。

これを議論するためには、まず、これまでの観測データがどうなっているかということが重要だ。そうすると、此れ迄の所、地球温暖化の影響はそれほど甚大なものでは無いことが分かる。何かあるたびに、メディアではそれを地球温暖化のせいにする意見が散見される。しかしこれには誤りや誇張が多い。例えば、台風の被害は、しばしば地球温暖化と結びつけ

¹⁰⁶ 「地球温暖化問題の探究」（杉山大志，2018b） https://www.canon-igs.org/publication/20181212_5406.html

¹⁰⁷ 初出は、 https://www.canon-igs.org/column/energy/20200406_6333.html

られる。しかし統計を見ると、強い台風が頻発するようにはなっていない。過去に日本に上陸した強い台風のランキングでは、昭和の3大台風など、1970年代以前のもののがずらりと並ぶ。あるいは、北極の氷が融けて、シロクマが絶滅すると言われてきた。しかし実際には、シロクマの数は増えている。人間がシロクマを殺さず保護するようになったためだ¹⁰⁸。

おどろおどろしい被害が増えるという話は、温度上昇の予測のシミュレーションの上に、更に被害についてのシミュレーションを継ぎ足して構成されている。しかしこの被害についてもシミュレーションも、やはり、妥当性の検証が済んだものではなく、過去を再現することも出来ず、したがって予言能力は乏しい。被害に関するシミュレーションの抱える本質的な問題点として、シミュレーションでは、所詮、人間や自然という、極めて複雑な対象の、ごく一部を切り取って単純化して扱うことしか出来ない、ということがあった。

シミュレーションは将来についての洞察を得るための道具としては有用である。しかしその結果を予測だと思っはいけない。いつ何処でどのような気候の変化があり、その時にどのような技術を用いて、人々がどのように適応するかといった、複雑な事象をシミュレーションで予測することは不可能に近い。

この複雑さ故に、温暖化の研究は、観測データにこそ重きを置くべきである、というのが筆者の理解である。そもそも気候とは何か、生態系とは何か。筆者は、世界のあらゆる現場に身を置き、また歴史に学ぶことで、この問いを詳しく探究した。

分かったことは、気候も生態系も、絶えず変わるものだ、ということだ。そして、地球温暖化が起きるといっても、それは、過去に自然に起きた気候の変動と比べて特段に大きいものにはなりそうになく、その程度の変動に晒されることは、実は、生態系にとっては、ごくありふれたことに過ぎない。約1万年前まで続いた氷期には、気候は激変を続けていて、福井県の付近は何度もシベリア並みの寒い気候になった。生態系とは、そのような洗礼を浴びつつ繁栄してきた、実にしたたかなものだ。

勿論、地球温暖化は生態系に、ある程度は影響を及ぼす。また生態系の管理は温暖化の有無に関わらず人間にとって重要である。だが、これまで観測されてきた100年で0.7℃といった緩やかな地球温暖化は、生態系にとっては異常事態という程のことでは無かった。

一方で、人間は、自然を大規模かつ急激に作り変えてきた。人間は、4万年程前から世界に拡散し、大型動物の9割を絶滅させ、森林を焼き払って草原を作り、農業で地上の景観を根本から変え、コンクリートで都市を覆った。そして、北極圏、高山、砂漠など、あらゆる場所に進出し、厳しい気候に適応して繁栄してきた。

この人間活動のスケールに比べれば、地球温暖化による環境の変化は、小さなものだ。だから、人間は十分に適応できる。東京は、過去100年に3℃温度が上昇した（地球温暖化が1℃で、都市熱が2℃）。だが近郊農業は盛んだし、都心には高層マンションが立ち並び、繁栄を続けている。100年で3℃程度のペースであれば、それと気付くことすらなく、人間は

¹⁰⁸ <http://ieei.or.jp/2019/12/special20191008/>

単に馴れてしまった。(蛇足ながら、どのようにして適応してきたのか、勿論、計算機でシミュレーション出来た人はいない)。

そして、仮に地球温暖化による変化があったにせよ、それとはお構いなしに、人類は偉大な進歩を遂げてきた。世界でも日本でも、過去 100 年で、食料の生産性は上がり、貧困人口も、飢餓人口も、自然災害による死者も激減した。これは、経済が成長し、技術が進歩したからである。今後も、この偉大な傾向が継続するだろう。

極端な排出削減こそ危険

むしろいま危険なのは、極端な排出削減を目指すことである。いま多くの自治体が、排出量を 2050 年までにゼロにするという目標を立てている。もしもこれを今から直線的に目指す一例えば、中間年に排出量目標を立てて、部門別に割当てるとなると、企業にとっては確実にバッド・シグナルとなる。企業は、海外に工場を建て、日本の工場は閉鎖していくだろう。

工場が無ければ、技術も科学も進歩しない。日本は温暖化対策のための技術どころか、何の技術も生み出さない国になる。日本は貧しい国になり、医療、衛生、教育、福祉等の、多くの社会的課題を達成出来なくなる。

のみならず、国力が下がれば、自由・民主といった基本的人権の擁護も、あるいは領土の保全、東アジア地域の平和、日本国の独立すら危ういかもしれない。これは地球温暖化によって想定される如何なる悪影響よりも、遙かに悪い事態である。

そんな馬鹿なことが、と思うかもしれない。だが弱国が強国の影響下に置かれ、人権が抑圧されたことは、歴史上何度もあり、現代世界でも珍しくない。これは「確率は低いかもしれないが、極めて重大なリスク」、即ち「ブラック・スワン (黒い白鳥)」であり、絶対に避けねばならないと思う。

「地球温暖化の環境影響は危険であり、2050 年にはゼロ排出という目標を達成しなければならぬ」という考えは、善意から始まっているのは間違いないだろう。そして、多くの研究者、行政官、政治家等が動員され、EU や日本の諸自治体の宣言等が制定されて、巨大な資金が投入されている。だが、残念ながら、誤りだ。2050 年にゼロ排出という目標こそ危険である。地球温暖化の環境影響のリスクはそれに比べれば小さいと思われる。

排出の削減はどう進めたらよいのか？

地球温暖化の環境影響のリスクについては既に述べた通りで、観測データはこれまでの所それほど重大な影響を示しておらず、シミュレーションによる予測は不確実であることを述べた。だがその一方で、科学的不確実性が大きいこともあるので、安全サイドを取って、排出は一定程度減らした方がよい。これはどのように進めればよいのか？

これを知るために、まず、人類が公害問題をどう解決したかを考えよう。1970 年前後には、自動車の排気ガスによる大気汚染や、工場による汚染水が重大な公害問題を引き起こした。この解決に最も重要だったのは技術であった。すなわち自動車の排気ガスには三元触媒が開発され、工場の汚染水にも処理技術が利用された。何れも、これらの対策技術が受容可能な（＝アフォーダブルな）コストで利用できることが決定的に重要だった。当時は「くたばれ GDP」といった標語が叫ばれるなど、経済成長自体を否定する意見もあった。しかし、現実に起きたことは、経済成長を謳歌しつつ、アフォーダブルな技術によって公害対策をすることであった。

地球温暖化も同じ事で、排出削減に必要なコストさえ下がれば、問題は解決されるだろう。現在、排出削減が困難なのは、対策技術のコストが高いからである。このコストが下がれば、諸国はその実装に困難を感じなくなり、排出削減は進む。人々が急に聖人君子になり、政治やライフスタイルが変わるといった甘い期待に賭ける気にはなれないし、その必要も無い。

コスト低減によって排出削減が進んだ例は既に多くある。シェールガス革命によって米国では石炭火力発電よりもガス火力発電が安価になって大幅に CO2 が減った。LED 照明は照明用の電力需要を大幅に引き下げた。フラットディスプレイもブラウン管に比べて大幅な省エネをもたらした。

今後も、技術進歩によって、更に排出削減が進むだろう。それでは、そのような技術進歩は、どのような戦略・政策によってもたらすことが出来るだろうか？

この問いに答えるためには、まず、そもそも技術とは何か、それが進歩するとはどういうことか、これをよく知らねばならない。筆者は、様々な事例を調べ、また、最新の理論—技術進歩の複雑系理論—に基づいて考察した。

技術進歩とは、生物の進化に似ている。つまり新しい技術は、先行する技術の組合せによって、段階を踏んで、累積的に進化する。この結果、加速度的に技術が進歩する。

例えば、革新的な人工知能 (AI) であるディープラーニングは、ゲーム機用に発達した画像処理装置 (GPU)、ウェブ上に蓄積された画像のビッグデータ、及びパーセプトロンという先行 AI 技術の、3つの組合せから誕生した。そしていま、ディープラーニングを活用して、新たな画像認識技術やロボット制御技術等が累積的に、続々と生まれている。

そしていま世界を見渡せば、AI、IOT、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー等の汎用目的技術:General Purpose Technology (GPT) が、あらゆる場所で、加速度的に進歩しつつある。

この変化は速く、10 年後ともなると、最早どうなっているか今からは想像がつかない。地球温暖化問題が数十年といった長いタイムスパンで語られるのとは訳が違う。このタイムスパンの違いに、地球温暖化問題解決のチャンスが内在する。

GPT を中心とした技術進歩は、今後も加速度的に進む。これは、CO2 削減のためのコストも、大幅に低下させるであろう。

既に、電気自動車 (EV) 用のバッテリーや太陽電池 (PV) のコストは大幅に下がってきた。この最大の理由は、ノートパソコン、スマートフォン等の最終製品をマーケットとして、半導体・フラットディスプレイ・携帯用バッテリー等の製造技術が長足の進歩を遂げ、その恩恵 (スピルオーバー) を受けたことにある。

今後も、GPT の進歩により、様々な要素技術が高性能かつ安価になって、その蓄積が充分になり臨界に達したとき、即ち複雑系理論で言う新技術の「隣接可能性」が満たされる時、革新的な温暖化対策技術が低いコストで一のみならず、むしろ経済的に魅力あるものとして一実現可能になってくる。

候補を挙げてみよう：AI を活用したデータセンターやオフィスの省エネ、3D プリンタによる軽量・高性能部品による航空機の省エネ、自動運転・カーシェアリングと組み合わせた EV による大幅な CO2 削減、AI を活用しエネルギーと肥料投入を最適化した精密農業、網膜走査レーザーによるバーチャルリアリティ (VR) によるディスプレイの代替、等々である。

二重の「迂回戦略」

既に述べたように、排出を大幅に減らそうと思ったら、相当に革新的な技術が必要であるが、実は、そのチャンスは大いにある。ではその実現のためには、日本は、どのような戦略・政策を採ればよいか。

筆者は、「二重の迂回戦略」を提案している (図 3-1)。

第 1 の迂回戦略は、日本政府及び経団連の 2050 年に向けた方針とほぼ同じである。つまり、排出量の削減を直接目指すのではなく、温暖化対策技術のイノベーションを推進する。というものである。極端な排出削減目標を直線的に目指すと、前述の「ブラック・スワン」に遭遇する危険がある。ブラック・スワンを回避し、かつ、広く国民の支持を得て安定した政策とする為には、温暖化対策技術のイノベーションによって、問題を解決するための「手段」を提供することが適切である。

第 2 の迂回戦略は、いかにして温暖化対策技術のイノベーションを進めるか、というものである。このやり方が肝心で、舵取りを誤ってはいけない。筆者の処方箋は、温暖化対策技術のイノベーションの為に、GPT を核とする科学技術全般のイノベーションを推進する。というものである。

近年の ICT のイノベーションの諸事例を観察すると、温暖化対策技術のイノベーションにとって重要なのは、対象を特定した政府の技術開発政策よりも、むしろ、科学技術全般の進歩であることが解る。

革新的な温暖化対策技術は、科学技術全般が進歩すれば生まれるし、そうでなければ生まれようがない。例えばいま、人工知能の活用による CO2 の削減が進んでいる。だがこの為には、勿論、まず優れた人工知能の実現が必要であった。

この第2の迂回戦略が適切な理由は、地球温暖化問題は長期に亘るものであり、その解決は今後生まれてくる未だ存在しない技術に依存する一方で、GPTの急激な進歩がそれを可能にしつつある、という問題の性質に依る。

この二重の迂回戦略によって、どの程度まで地球温暖化の被害は防げるのか？ 2章で述べたように、よく議論されているシナリオは排出量が極端に高いか極端に低いかの何れかであって、およそ現実味がない。筆者はその中間に位置する「標準シナリオ(図3-2)」が、実現可能性があり、また甚大な環境影響を避ける将来シナリオになるのではないかと考え検討した。詳しくは拙著を参照されたい¹⁰⁹。

政府の役割

それでは、この「二重の迂回戦略」において、政府の果たすべき役割は何であろうか。一口に言えば、GPTを核とした科学技術全般のイノベーションを、経済成長との好循環に於いて実現することである。その上で、科学技術全般のイノベーションの成果を刈り取る形で、温暖化対策技術のイノベーションを促せば良い。

この実現のために政府が為すべきことは多いが、特に、温暖化対策に関連する範囲では、何が重要か。4点に絞って指摘する。

第1に、温暖化対策の名に於いて、経済とイノベーションの好循環を妨げないことである。勿論、政府がしなければならないことは幾つもある。だが実は、政府は「余計なことをしない」というのも、大事な点である。政府が温暖化問題を解決すると言えば、英雄的に聞こえる。しかし実際には、「政府の失敗」も多い。例えば再エネ全量買取制度(FIT)によるPVの導入は電力価格を高騰させた。これは日本産業の体力を奪い、イノベーションの妨げとなった。

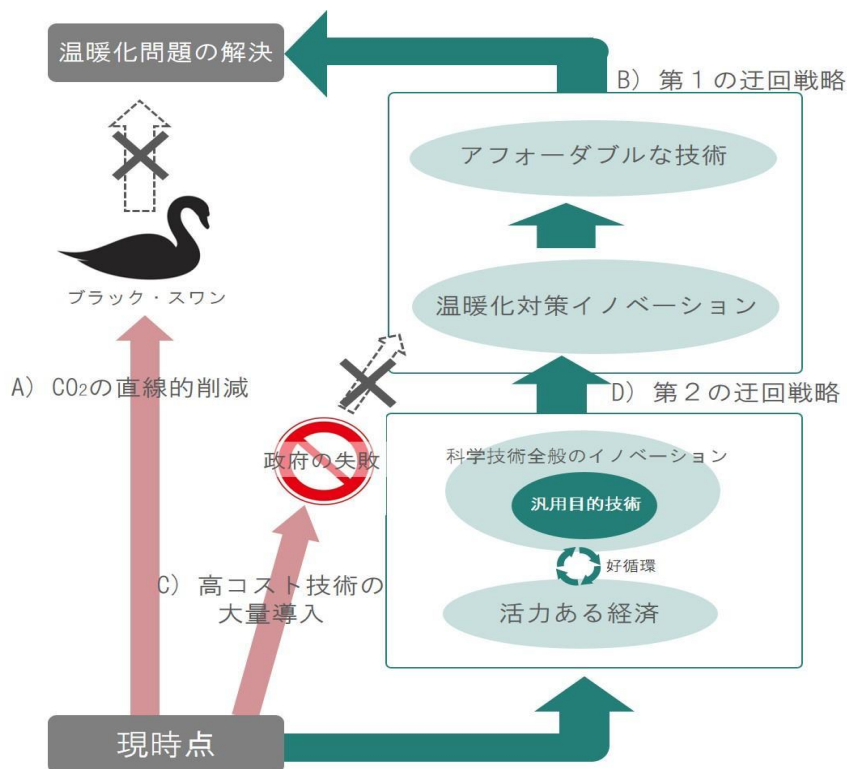
なおイノベーションを推進するために過度な政府の介入を控える、という方法は、経済政策としては、何ら新しいものではない。自由経済のイノベーション能力に信頼を置き、政府は裏方に徹するというのは、計画経済との闘争を通じて人類が学んだ、賢明な官民の役割分担である。筆者の意見に新鮮味があるとすれば、これが地球温暖化問題の解決策としても正解であろう、と論じる点にある。

第2の政府の役割であるが、技術開発の補助等による推進も、勿論、一定の役割を果たす。これには、当然、温暖化対策技術の推進も含まれるが、温暖化対策技術だけではなく、より広範な技術開発をするべきであり、それが結局は革新的な温暖化対策につながることも多いだろう。いずれの場合も、補助の対象は基礎研究から実証段階までに絞るべきであり、普及段階に及んではいけない。また経済に悪影響をもたらさぬ様、適正規模で実施する必要がある。

¹⁰⁹ https://www.canon-igs.org/publication/20181212_5406.html

第3に、急速に進む科学技術全般のイノベーションに対して、その可能性を最大限に活かす様、そして新しい技術の導入を妨げることが無い様、タイミング良く制度を改革する、という裏方仕事こそが、政府にしかできない、政府がやるべき重要な仕事である。これには、例えば、自動運転車・リモート教育・リモート診療の導入を可能にする規制体系の整備等、枚挙に暇がない。これらのイノベーションは、ふつうは経済的便益を主目的とするものであり、直接にはCO2の削減を目的とするものではないが、やがて大幅なCO2排出削減を可能にする、という視座を持って進めると良い。

第4に、イノベーションの成果を刈り取る形で、安価になった温暖化対策技術の普及を図ることである。安くて良い技術さえ手にすれば、政策手段は奇をてらう必要は無い。官僚制度が肥大化したり問題が政治化して費用が膨大になるといった弊害を小さくするためには、排出量取引等の大袈裟な制度を新たに導入するのではなく、企業の自主的取組、技術実証の補助、省エネに関する技術基準の設定といった、昔ながらの政策手段の方が良い。



第1の迂回戦略

A) 地球温暖化問題の解決を、現時点から直線的に目指すと、経済や安全保障への甚大な悪影響といった「ブラック・スワン」に遭遇し、失敗する懸念がある。

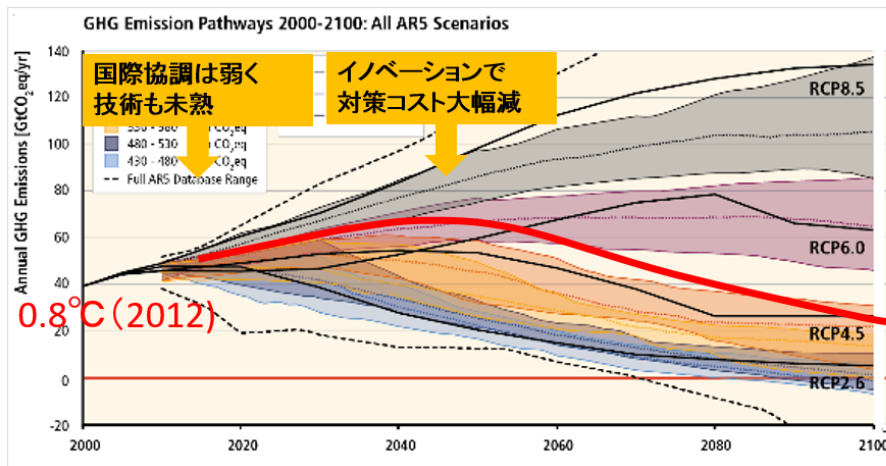
B) それに代わる「迂回戦略」として、温暖化対策技術のイノベーションによってアフォーダブルな技術を開発し、それが世界に普及することにより温暖化問題の解決を目指すべきである。

第2の迂回戦略

C) 温暖化対策技術のイノベーションを進めるにあたって、現時点から再エネの大量導入のように高コストな技術の政策的導入を進めると、費用対効果が著しく悪くなり、結局は政策が継続できず失敗に終わるといった「政府の失敗」が生じる。

D) これに代えた「迂回戦略」として、汎用目的技術をコアとした科学技術全般のイノベーションを活力ある経済との好循環の下で進め、その成果を刈り取る形で温暖化対策技術のイノベーションを進めることが適切である。

図 3-1 二重の迂回戦略と政府の役割



*RCP4.5の温度上昇の中央値とRCP6.0温度上昇の中央値の平均。

図 3-2 標準シナリオ。気温は産業革命前からの上昇幅。「GCM」は気候モデルの中央値、「観測分析」は過去の気温上昇観測値からの外挿による推計値。詳しくは拙著を参照されたい¹¹⁰。

2 コロナ禍の教訓： 温暖化対策は不確かな予測よりも観測に基づくべし¹¹¹

要約

温暖化対策を一般的に論じたところで、コロナ禍からの教訓を学んでみよう。コロナ対策は、当初、不確かな数値モデルに翻弄されたが、その後は、データの観測に基づいて、経済とのバランスが図られるようになった。この温暖化対策への教訓は2つある。①不確かなモデルはパラメーター次第で極端な被害を予測してしまう。②モデルが不確かな場合、モデルを過信せず、データの観測に基づいて、経済とのバランスを探りながら行動すべきだ。

コロナモデルと観測データ

コロナ対策として、欧米ではロックダウンが、日本では自粛が実施された。経済活動が大きく制限される政策の採用に当たっては、感染者数と死亡者数を予測する数値モデルが大きな役割を果たした。

特に有名になったモデルは、英国ロンドン・スクール・オブエコノミクス(LSE)のファーガソンと、北海道大学の西浦教授のものだった。その基本的な骨格は「SIRモデル」であり、

¹¹⁰ https://www.canon-igs.org/publication/20181212_5406.html

¹¹¹ 初出 拙稿 IEEI 温暖化対策はコロナの教訓に学び、予測モデルよりも観測データに基づくべし <http://ieei.or.jp/author/sugiyama-taishi/>

簡単に要約すると以下ようになる（ここでは、やや正確さを犠牲にして分かり易くしてある。詳細は文献を参照¹¹²⁾）：

コロナの SIR モデル

- ① 感染者は 1 人あたり R 人と濃厚接触する。
- ② 濃厚接触すると、「獲得免疫」を持っていない限り、感染する。
- ③ 感染すると、治癒して獲得免疫を持つようになるか、あるいは、死亡するかのどちらかになる。

この定式化だと、獲得免疫が出来ない限りは感染が続くので、多くの人口が感染しないと、感染拡大は止まらない。西浦氏は、自粛をしない場合には $R=2.5$ であるとして、人口の 60% が感染する、とした。そして、その一定割合は重症化し死亡する、とした。

このような理論に基づき、R を大幅に減らすべく、海外ではロックダウンが、日本では自粛が行われた。

だが、その後の経過はどうだったか。ファーガソンのモデルは感染率・死亡率を大幅に過大評価していた、と批判されている^{113、114}。

また、日本等のアジア諸国と、欧米を比較すると、死亡率に大きな差が出た。図 3-3 は、100 万人あたりの死亡者数である。縦軸は対数軸になっているので、アジア諸国と欧米諸国では文字通り「桁違いに」違うことが分かる。なぜアジア諸国ではこんなに低いのか。この違いは、SIR モデルでは説明できなかった。

¹¹² ここでは分かり易くするために「有効再生産数」を「濃厚接触」と言い換えている。有効再生産数の正確な定義は、「感染症に感染した 1 人の感染者が、誰も免疫を持たない集団に加わったとき、平均して何人に直接感染させるかという人数」。

SIR モデルの説明として、例えば <https://ja.wikipedia.org/wiki/SIR%E3%83%A2%E3%83%87%E3%83%AB>
https://www.rieti.go.jp/jp/columns/a01_0545.html

¹¹³ https://www.telegraph.co.uk/technology/2020/05/16/coding-led-lockdown-totally-unreliable-buggy-mess-say-experts/?utm_source=CCNet+Newsletter&utm_campaign=a8a2a2c684-EMAIL_CAMPAIGN_2020_05_16_02_27_COPY_01&utm_medium=email&utm_term=0_fe4b2f45ef-a8a2a2c684-36445525&mc_cid=a8a2a2c684&mc_eid=5259baafe7

¹¹⁴ <http://www.rationaloptimist.com/blog/lockdown-and-mathematical-guesswork/>

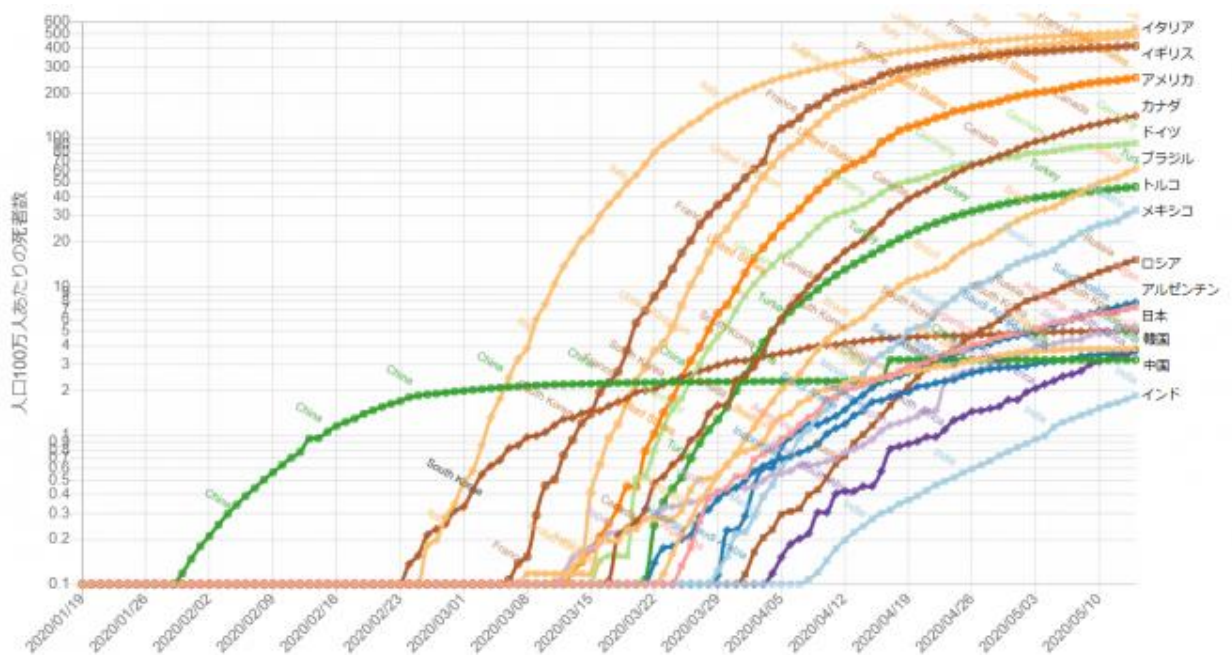


図 3-3 G20 諸国のコロナ死亡率（札幌医科大学のデータ）¹¹⁵

じつは獲得免疫が無くても「自然免疫」があることで感染が拡大しなかった、という見方が提示されている。自然免疫というのは、新型コロナウイルスに感染しなくても、これまでの人生でさまざまなウイルスに曝されていたりして、新型コロナウイルスに抵抗力がついている状態を指す。¹¹⁶

自然免疫が効いているとなると、上記モデルの②は間違いだった、ということになる。つまり：

②（修正）： 濃厚接触しても、獲得免疫あるいは自然免疫があれば感染しない。どちらも存在しなければ感染する。

となる。この自然免疫の正体、由来、地域差等については盛んに議論がなされているが、執筆現在でまだ決着はついていないようだ。また、SIR モデルについては、人口全体で一様に、全期間を通じて $R=2.5$ と置くことの妥当性にも疑問が投げかけられている。

コロナ禍の温暖化対策への教訓

さて、コロナ禍から温暖化対策に得られた教訓は 2 つある。

¹¹⁵ <http://agora-web.jp/archives/2046069.html>

¹¹⁶ <https://news.yahoo.co.jp/byline/kimuramasato/20200516-00178807/> ; <http://agora-web.jp/archives/2046128.html>

- A. 不確かなモデルは、前提やパラメーターの設定次第で、極端に大きな災害を予測する。
- B. モデルが不確かな場合、重要なことは、モデルを信じ続けることではなく、データを観測しながら、それに基づいて経済とのバランスをとりつつ対策をすることだ。¹¹⁷

自粛は経済に大きな悪影響を与える。このため、執筆現在、日本は感染者数や死亡者数の推移をモニタリングしつつ、日本は経済活動を可能な限り再開しようとしている。もはや不確かな SIR モデルには頼っていない。

以上の教訓を踏まえると、温暖化対策はどうあるべきか。

大幅 CO2 削減シナリオは「コロナ自粛フォーエバー」である

まず、コロナ対策と温暖化対策の経済影響の規模感について把握しておこう。

コロナウイルスの感染リスクにもかかわらず日本が経済を再開しようとしているのは、自粛の経済的な悪影響があまりに甚大だからだ。

ここで大事なものは、経済的な悪影響が甚大になりうるのは、1.5°C目標や 2°C目標といった、極端な大幅削減を目指す温暖化対策も全く同様だ、ということである。

数字で規模感を掴んでおこう。IEA の試算では、コロナ禍により 2020 年の CO2 排出量は年率 8%で減少するとしているが、これは、1.5°Cシナリオや 2°Cシナリオで言われている排出量の削減率に近い。例えば IEA の 2°Cシナリオの CO2 排出量の削減率は 6.4%であり、UNEP の 1.5°Cシナリオの削減率は 7.6%である。つまり 1.5°Cシナリオや 2°Cシナリオは、コロナ禍級の CO2 排出削減を十年、二十年と、毎年毎年対策を深掘りしつつ継続する、というものだ¹¹⁸。地球温暖化には環境影響のリスクがあるが、他方で極端な温暖化対策には、莫大な経済影響のリスクが存在する。その規模はコロナ対策を大きく上回りうる。

勿論、より安価な温暖化対策手段をとれば、経済影響は軽減できるかもしれない。しかし、年率にして 6%や 7%といった排出削減を十年、二十年と深掘りしつつ継続するとなると、安価な対策手段はすぐに尽きて、航空機を使わないとか、自家用車で旅行をしないといった、コロナ自粛と同様な、極めて高価な対策を余儀なくされることは想像に難くない。

不確かな予測ではなく、観測データに基づいて行動すべし

さて温暖化対策のあり方の議論に戻ろう。

¹¹⁷ <http://www.rationaloptimist.com/blog/we-know-everything-and-nothing/>

¹¹⁸ <http://ieei.or.jp/2020/05/expl200522/>

第 1 章で見たように、地球温暖化の研究では、シミュレーションモデルが多用されている。大別すると、モデルは以下の 3 つの段階からなっている。

温暖化モデル

- ① CO2 排出モデル : 経済活動に伴って CO2 排出が増える
- ② 気候モデル : CO2 排出に伴って温度が上がる
- ③ 環境影響モデル : 温度上昇に伴って自然災害などの環境影響が増える

何れもコロナウイルスの SIR モデルよりも相当に複雑ではあるけれども、抱えている問題は全く同じである。何が問題点か、すでに詳しく述べたが、簡潔にまとめよう：

「CO2 排出モデル」について、「温暖化対策なかりせば」の場合とされる IPCC シナリオは、非現実的なまでに排出量が多い。「気候モデル」も、科学的不確実性が大きく、CO2 濃度が産業革命前の 2 倍になったときの温度上昇は 1.5℃と 4.5℃の間、しかもその間に入らないかもしれない、と IPCC も報告している等、かなり不確かである。だがこの不確かなモデル 2 つの結果をつなぎ合わせて「最悪の場合 4.8℃上昇」と環境省もメディアも報じる。「環境影響モデル」についても、例えば世界の降水量について、温度上昇 1℃あたり「4%増える」というものから「全く増えない」というものまで、答えはばらついて、とてもはっきりしたことが言える状態ではない。台風については、関連の深いエルニーニョ現象なども含めて、そもそも現状の再現も満足に出来ておらず、将来について確たることを予測出来る状況ではない、と IPCC もまとめている。

なお筆者はモデルの研究者を責めているわけではない。大半の研究者は真剣にモデルを作り、科学の最先端で活躍している。だが、真剣で最先端だということと、モデルに予測能力があるかは、全く別のことである。科学的知見や計算能力に不足があれば予測能力は無い。

さてモデルがこれだけ不確かな以上、観測されたデータこそ重視すべきであろう。では日本についての観測事実はどうだったかと言うと、①台風は強くなっていない。②豪雨は過去の自然変動範囲よりも強くなっているとは言えない上に、地球温暖化の影響ははっきりしない。③猛暑への地球温暖化への寄与はごく僅かであった。

かかる観測事実を踏まえ、またコロナ対策の教訓に照らすならば、不確かなモデルに振り回されて、経済影響が甚大になる極端な温暖化対策を実施することは誤りである。為すべきことは、観測データをモニタリングしつつ、経済とのバランスをとり、対策を講じてゆくことだ。それは低コストな範囲での CO2 削減策の実施と、それを長期的に可能にする技術開発、ということになる。

コロナ禍と温暖化のタイムスパン

この後、すぐに具体的な技術選択の議論に入るけれども、その前に、コロナ禍と温暖化のタイムスパンの違いについて述べておこう。

コロナ禍のSIRモデルの場合、間違っていれば、それは1, 2カ月で分かり、自粛要請は解除され、モデルを信じ続けるのではなく、感染者数等のデータのモニタリングをしつつ経済を再開する、という方針に切り替えることが出来た。

地球温暖化の場合は、コロナと異なり、モデルの真偽が分かるまで、もっと時間がかかる。だが温暖化についても、1980年以降、観測網はどんどん強化されてきた。その結果、おどろおどろしい予測は大抵外れてきた。日本について言えば、台風は強くなっておらず、豪雨は増えていない。平均気温は上昇しているが、ゆるやかなものであり、猛暑への寄与は僅かだ。温暖化の場合、コロナウイルスのようにすぐにモデルの予測を検証できる訳では無いが、十年、二十年と時間をかけて、過去についてどうであったかは観測データが積み重なってきたので、重大な異変があったかどうか、検証できるようになってきた。今や、このような過去の観測データこそを重視すべきである。

なおタイムスパンの違いにはもう1つの側面がある。温暖化がコロナと異なるのは、CO₂はゆっくりと大気中に蓄積されるものであって、それがパンデミックのように数か月で突然に破局的な被害をもたらすという性質のものではないことだ。今後、仮に、温度上昇が加速したり、あるいは極端な気象が明白に増大するにしても、それが破局的な段階に達するまでには何十年もかかるだろう。もしも経済に深刻な影響が出るような極端な排出削減策を講じる必要が生じるとすれば、深刻な悪影響ははっきりと観測されるようになってからにすべきだ。今の所、そのような観測データは無い。

3 コロナ後の温暖化対策：「デジタル化の推進」と「安価なエネルギー供給」¹¹⁹

要約

コロナウイルス対策としては、執筆現在、感染抑止・事業継続支援・低所得者支援が主に行われているが、ひとたびパンデミックが抑制されれば、次は経済回復のステージとなる。その中であって、温暖化対策・エネルギー政策は、どう見直すべきか。

コロナウイルス感染抑止を契機として、リモート・オフィス等のデジタル化の動きが進んでいる。これを加速することは、経済回復のために重要であるが、のみならず、長期的な温暖化対策のための布石となる。

¹¹⁹ 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/2020/04/sugiyama200410/>

これを支えるためには、エネルギー供給は化石燃料と原子力を活用し安価を旨とし、疲弊した国民経済に負担となる高価な再エネ導入政策は縮小すべきだ。以上により、経済成長と温暖化対策を両立できる。

経済回復ステージでのエネルギー政策のあり方は

コロナウイルスによるパンデミックが起きている。執筆現在（4月8日）において、日本政府は緊急事態宣言を発し、感染抑止に取り組んでいる。100兆円を超える緊急経済対策としては、企業の事業継続のための資金繰り支援や、低所得者の生活の救済が主眼となっている。

今後、政府の施策は、感染抑止・事業継続というステージから、経済回復というステージへ移行してゆくだろう¹²⁰。このためには再び大規模な政策介入が必要となるが、これはどうすべきか。

米国では、緊急経済対策の在り方として、温暖化対策を盛り込もうとする動きがあった。民主党からは、再生可能エネルギーの減税が提案された。また、企業に対する資金繰り支援への条件として、航空会社には野心的なCO2排出削減目標を約束させるべきだ、石油・ガス産業は対象から外すべきだ、といった提案があった。しかし、現実には人々が心配しているのは安全、経済回復、雇用であるため、これら提案は退けられた。^{121、122、123}

では日本では、今後の温暖化対策・エネルギー政策はどうあるべきか。

景気刺激策として、再生可能エネルギー等への温暖化対策投資を大規模に実施すべきだという意見が海外の一部の識者からなされている¹²⁴。しかし筆者は、これは不適切と考える。温暖化対策投資の多くは、エネルギーコストを増加させる。経済が疲弊しているいま、さらに企業や国民の負担を増加させるような政策を実施すべきではない。

政策的に投資を促すのであれば、コロナウイルス後の日本の経済成長を支える生産性の高い投資とすべきだ。温暖化対策・エネルギー政策は、どう見直すべきか。

¹²⁰ キヤノングローバル戦略研究所 緊急提言：コロナ・ショックの経済対策の基本的方向性について https://www.canon-igs.org/column/macroeconomics/20200324_6309.html

¹²¹ Breakthrough Institute 記事

<https://thebreakthrough.org/issues/energy/its-the-economy-stupid>

¹²² Forbes 記事 <https://www.forbes.com/sites/tilakdoshi/2020/04/02/covid-19-and-climate-change-asias-policy-choices-in-the-age-of-crisis/#780d29005cc0>

¹²³ 世界の人々の関心事項が健康や雇用であり地球温暖化の優先順位が低いことについては有馬純 新型コロナウイルスと地球温暖化問題 <http://ieei.or.jp/2020/03/opinion200318/>

¹²⁴ 例えば IEA Birol <https://www.iea.org/commentaries/put-clean-energy-at-the-heart-of-stimulus-plans-to-counter-the-coronavirus-crisis>

デジタル化により経済成長と温暖化対策の一石二鳥を目指せ

いま感染抑止を契機として、経済のデジタル化が急速に進みつつある。リモート・オフィスからの業務、リモート教育、リモート医療等である¹²⁵。これに引き続いては、製造業のサプライチェーンのデジタル化・省人化も一層進むだろう。デジタル技術については、これまで、ハード・ソフト両面の技術進歩があったにも関わらず、制度整備や、ビジネスモデルの形成が遅れていた。しかし、今回のパンデミックを契機として、需要が喚起され、制度や慣習が改まり、新たな市場が形成されるだろう。これはまた更なる技術進歩を促すことになる。このような形でデジタル化のイノベーションが急速に進む可能性が見えてきた。この促進を通じて、今後のパンデミックの抑制と経済成長との一石二鳥を図るべきである。同様な意見は日本商工会議所等からも提出されている。¹²⁶、¹²⁷、¹²⁸

これに加えて、筆者が主張したいことは、デジタル化は、じつは温暖化対策としても極めて重要だ、ということである。デジタル化が進むことで、通勤等の移動のためのエネルギー需要や、オフィスビルでのエネルギー需要などを大幅に減らすことが可能になる。ひいては、経済全体がスマート化することにより、工場においても、サプライチェーンにおいても、大幅なエネルギー需要の削減が可能になる。デジタル化によるエネルギー需要の削減は、IPCCの排出削減シナリオにおいても中心的な役割を果たすことが見込まれている¹²⁹。デジタル産業団体のGeSIは、デジタル化によって世界のCO2の4分の1を削減するポテンシャルがあるとしている。¹³⁰、¹³¹

安価な電力供給で経済回復とデジタル化を支えよ

以上はエネルギー需要側の話であったが、エネルギー供給側はどう考えるべきか。

¹²⁵ 例えば <https://www.nhk.or.jp/ohayou/biz/20200406/index.html>

¹²⁶ 日本商工会議所「新型コロナウイルスの感染拡大に伴う経済対策に関する緊急要望～感染拡大防止の徹底と地域経済社会への影響の最小化に向けて～」

<https://www.jccci.or.jp/recommend/2020/0330140000.html>

¹²⁷ 三菱総合研究所 「新型コロナウイルス感染症の世界・日本経済への影響と経済対策提言」
https://www.mri.co.jp/knowledge/insight/ecooutlook/2020/dia6ou000001xs5v-att/nr20200406pec_all_1.pdf

¹²⁸ 小山堅、コロナ禍によるエネルギー市場への長期的、構造的な影響に関する一考察
<https://eneken.ieej.or.jp/data/8895.pdf>

¹²⁹ 環境省資料 スライド51
http://www.env.go.jp/earth/ipcc/6th/ar6_srl.5_overview_presentation.pdf

¹³⁰ 拙稿 ワーキング・ペーパー (17-006J) 「汎用的技術の進歩による地球温暖化問題解決への展望について」
https://www.canon-igs.org/workingpapers/171124_sugiyama.pdf

¹³¹ 拙著：「地球温暖化問題の探究——リスクを見極め、イノベーションで解決する」デジタルパブリッシングサービス
https://www.canon-igs.org/publication/20181212_5406.html

経済回復のためには、エネルギーを安価に保つ必要がある。このためには、高価で国民の負担となる再生可能エネルギー導入の政策は縮小すべきだ。安価な電力供給のためには石炭火力・ガス火力発電の活用と、原子力発電の利用が欠かせない。現代の経済は、化石燃料と原子力の利用によって維持されており、太陽・風力などの出力が安定しない再生可能エネルギーはそれに寄生しているに過ぎないという事実を直視しなければならない。¹³²

安価な電力供給は長期的な CO2 削減の鍵

火力発電を利用すれば、CO2 排出は一時は増えるが、電力価格は低く抑えられる。

そして、低い電力価格は、長い目で見れば、大幅な CO2 排出削減につながる。これには 2 つのメカニズムがある。

第 1 は、デジタル化のイノベーションが進みやすくなるためだ。低い電力価格の恩恵を受けて企業業績が回復し、経済が成長軌道に乗ることで、デジタル化のイノベーションが加速する。経済のデジタル化が進めば、将来には、エネルギー需要を大幅に削減できる。

第 2 は、エネルギー需要の電化が進むためだ。

温暖化対策として電化が重要であることは、例として電気自動車を考えればよく分かる。ガソリン自動車を電気自動車に置き換えることは、長い目でみて自動車部門からの CO2 を大幅に削減するために重要な手段である。そして電気自動車が普及するためには、電気料金は安くなければならない。電気料金を安く維持できれば、化石燃料から電気への代替が見込めるのは自動車だけではない。暖房用や給湯用のエネルギーでも同様だ。

いま日本の CO2 の 3 分の 1 は発電所から出ているが、残りの 3 分の 2 は自動車のエンジンや工場のボイラー等で燃焼している石油やガスなどの化石燃料である。いくら発電のための CO2 を削減しても、電化が進まない限りは、日本全体としての CO2 の削減には限界がある。従って、発電部門からの CO2 排出を減らすことのみならず、電化を進めることも等しく重要なのだ。発電部門からの CO2 排出の削減は、電力価格を高騰させることなく出来る。最も有力な手段は原子力発電の利用、天然ガスの利用などだ。

経済回復の局面では、燃料費が安い石炭火力に大いに頼るべきである。ひとたび経済が回復すれば、そのときには石炭火力発電の稼働率を下げ、原子力や天然ガス火力の稼働率を上げることで全体としての CO2 排出を下げることも視野に入ってくる。まずは危機的状況にある経済回復を優先すべきだ、という順序を間違えないことが重要である。¹³³

¹³² 石油・ガスは安定・安価なエネルギー供給のみならず、防護服などの医療用プラスチック供給のためにも欠かせない存在である。<https://www.forbes.com/sites/danielmarkind/2020/04/01/to-fight-the-coronavirus-the-world-returns-to-fossil-fuels/#4fc60c2f1b0b>

¹³³ 日本の石炭火力発電の利用戦略については、拙稿「日本の石炭戦略」https://www.canon-igs.org/column/energy/20200124_6097.html

4 経済回復に再生可能エネルギー拡大が有害な理由¹³⁴

要約

前節で、再生可能エネルギーは高価である、と書いたが、以下ではこれについて丁寧に説明しよう。

「太陽光発電は今や日本でも火力発電より安くなっている」という意見があるが、これは誤りであり、実際はかなり高い。「コロナ禍後の経済回復において日本は再生可能エネルギーの導入を拡大すべきだ」という意見があるが、これは電気料金の上昇を招き、経済回復を遅らせるので、誤りである。

再生可能エネルギー価格の現状

コロナ禍後の経済回復のための景気刺激策として、再生可能エネルギーの導入を拡大すべきだ、という意見が、米国、欧州の一部から聞こえるようになった¹³⁵、¹³⁶。日本でも類似の意見が出てきた¹³⁷。

だが再生可能エネルギーというと、経済性が気になるところだ。これに対して、推進論者は、再生可能エネルギーは、今や他の発電方式より安い、ということをよく言う¹³⁸。本稿ではこの真偽を確かめよう。なお以下の計算では、公開されたデータに基づいて、本質を変えない範囲で可能な限り単純化している。

再生可能エネルギー全量買取制度の下での日本の太陽光発電の入札価格は、2020年1月には10.99円/KWhから13.00円/KWhの間だった¹³⁹。ただし入札の対象になっているのは250kW以上という大型の事業用太陽光発電のみであり、小型の太陽光発電には、もっと高い買取価格が設定されている。10kW未満であれば、21円/KWhである¹⁴⁰。

風力発電は、太陽光発電より全般に高価で、陸上で16円/KWhプラス税、浮体式洋上風力では36円/KWhプラス税、となっている。¹⁴¹

¹³⁴ 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/2020/06/sugiyama200604/>

¹³⁵ 例えば <https://forbesjapan.com/articles/detail/34484>

¹³⁶ 例えば https://www.forbes.com/sites/davekeating/2020/04/22/eu-may-combine-green-deal-with-white-deal-to-fight-covid19/?utm_source=CCNet+Newsletter&utm_campaign=df5b5f76ab-EMAIL_CAMPAIGN_2020_04_22_02_21&utm_medium=email&utm_term=0_fe4b2f45ef-df5b5f76ab-36445525&mc_cid=df5b5f76ab&mc_eid=5259baafe7#5a1f72a17e8a

¹³⁷ 例えば <https://www.renewable-ei.org/activities/reports/20200520.php>

¹³⁸ 例えば <https://www.renewable-ei.org/activities/column/20170526.html>

¹³⁹ <https://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/2001/24/news038.html>

¹⁴⁰ https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/fit_kakaku.html

¹⁴¹ https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/fit_kakaku.html

同じ「キロワット・アワー(KWh)あたりの価格」でも意味が違う

さて、以上の価格を石炭火力発電と比較してみよう。石炭火力発電のコストは、燃料費が 5.5 円/KWh であり、建設費・運転維持費等を足すと、合計で 9.3 円/KWh と政府は試算している¹⁴²。

発電コストの数字だけ見比べると、大型の太陽光発電(最低で 10.99 円/KWh)と石炭火力発電(9.3 円/KWh)は互角になったように見える。実際、そのような意見もよく見かける¹⁴³。だがこれは初歩的な間違いである。

同じ「KWh」、つまり発電電力量でも、両者の意味は全く違うのだ。太陽光発電は、電力を消費したい人が居ようが居まいが、太陽が照った時だけに発電する。これに対して、石炭火力発電は、電力を消費したい人がいるときに、必要なだけの発電をする。

一見、同じ価格であっても、火力発電は「買いたい価格」であるのに対して、太陽光発電は「押し売り価格」であって、意味が違う。

電気は、消費に合わせて発電するからこそ価値があるのだ。

家庭の照明について考えよう。電気の価値は、スイッチを入れた時にきちんと照明がつくことにある。なぜ石炭火力発電ではこれが可能か。スイッチを入れると、それで電線に電流が流れ、するとそれに応じて発電所で石炭ボイラーへの投入が増えて、追加分が発電されるようになっている。じつに巧みな仕掛けである。

これに対して、太陽光発電だけだと、たまたま日光が出た時だけ電気が送られるので、スイッチを入れても、太陽が照っていないと照明はつかない。これでは不便極まりない。そんな電気にお金を払いたくはない。

勿論、これでは使い物にならないから、太陽光が照っていないときのために備えて、石炭火力などの他の発電所を作っておく必要がある。これが現実に行き始めていることだ。

再生可能エネルギーの本当の価値は？

さてこのとき、太陽光発電には、いったいどれだけの価値があるのか？ 以下、簡単のため、石炭火力発電と太陽光発電だけがある状況を考えよう。

太陽光発電は、石炭火力発電を代替することは出来ない。太陽光発電が何 KW あっても、それと同じ KW だけ石炭火力発電があっても、いつでも運転できるように維持しておかねばな

¹⁴² なおここでの 5.5 円/KWh とは、将来の石炭価格上昇を見込んだ数値である。詳しくは 下記の P10、P41 を参照のこと。なお、政府試算では仮想のカーボンプライスを 3.0 円/KWh として上乗せしているが、これは発電コストでは無いので、ここでは除外している。
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/006/pdf/006_05.pdf

¹⁴³ KWh あたりの発電原価だけを比較して太陽光発電が火力発電より安価になった、と論じている初歩的な誤りを冒している例：
<https://www.renewable-ei.org/activities/column/20170526.html>

ないからだ。つまり太陽光発電を造ろうが造るまいが、石炭火力発電の建設費と運転維持費はかかる。

太陽光発電の価値は、太陽光が照っている時だけに限り、石炭火力発電の燃料を節約できる、というだけのことだ。この節約分を「回避可能費用」という。これは石炭火力発電だと前述した燃料費である 5.5 円/KWh の価値にしかない¹⁴⁴。

従って、全量買取制度の下で 11～13 円/KWh の価格で太陽光発電が導入されるというとき、このうち 5.5 円/KWh は石炭火力発電の燃料を節約することで取り返せる。だが残りの 5.5～7.5 円/KWh は、電力の消費者が負担することになる。

つまり大型の太陽光発電を 1KWh 増やすたびに、国民は 5.5～7.5 円を追加で負担せねばならない。これが大型の太陽光発電ならばまだこの位で済む。小型の太陽光発電なら 21 円マイナス 5.5 円で 15.5 円である。陸上風力発電なら 16 円マイナス 5.5 円で 10.5 円（プラス税）である。浮体式風力発電なら 36 円マイナス 5.5 円で 30.5 円（プラス税）である。

なお実際には、これに加えて、太陽光発電の導入量が増えるにつれて、発電量を抑制し（＝捨て）たり、送電線を増強したり、変動する太陽光発電に合わせて火力発電の出力を急激に変動させたりすることで、更にコストは嵩む（以上は専門的になるので詳細は省く¹⁴⁵）。

再生可能エネルギー導入拡大は経済回復を妨害する

再生可能エネルギー賦課金は 2019 年度には 2.95 円/kWh に達し、再生可能エネルギーの買取費用は 3.6 兆円、賦課金は 2.4 兆円となっている。事業者や家庭は毎年 2.4 兆円もの費用を既に負担している¹⁴⁶。今後、再生可能エネルギーの導入が更に拡大するならば、この賦課金はますます膨らむことになる。買取費用は 2030 年には 4.5 兆円に上ると試算されている。¹⁴⁷

いまコロナ禍で企業の財務状況は悪化し、生活は苦しくなっている。回復にはしばらく時間がかかるだろう。このようなときに、ますます電気料金の負担を増やすのは間違いだ。いま為すべきことは、全量買取制度を見直し、今後の再エネ導入量を大幅に縮小することだ。

政治家や行政官にとって、再生可能エネルギーには、危険な誘惑がある¹⁴⁸。イメージが良いので、投資拡大に支持を集めやすいかもしれない。またすぐに巨額に上るので、景気対策として目立つ成果になり易いかもしれない。大きなお金が動けば、それで仕事出来る事業者も多いからだ。だが本稿で述べたように、再生可能エネルギーに投資することは、国全体

¹⁴⁴ ここでの回避可能費用の説明は、詳細は省いている。正確には以下リンクを参照されたい
<https://pps-net.org/statistics/avoided-cost>

¹⁴⁵ 詳しくは、例えば <http://ieei.or.jp/2019/06/opinion190610/>

¹⁴⁶ <https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2018/html/002/#section3>

¹⁴⁷ <https://www.denkishimbun.com/sp/61384>

¹⁴⁸ <https://www.thegwpf.org/content/uploads/2020/05/Constable-Covid-GreenDeal.pdf>

として見るならば、きわめて無駄の大きい投資である。上述したように、発電原価が総じて高いうえに、その便益はせいぜい化石燃料の節約ぐらいしかない。経済合理性は全く無い。

政府も企業も、財務状況はコロナ禍で悪化している。だがそれでも必要な投資はある。コロナ後の経済においては、リモートオフィス・リモート教育・リモート診療などのデジタル技術が活躍する。これは前述したように将来の温暖化対策技術のイノベーションへの布石にもなる。これを支えるインターネット等のインフラ整備には、莫大な投資が必要だ。また近年、水害等への対策が不十分であったことが露呈しつつあり、防災インフラへの投資も必要だ。電気技術者も、建設業者も、自治体も、こういった、喫緊かつ費用対効果の高い仕事で十分に忙しくなるはずだ。再生可能エネルギー投資を拡大する必要は無い。

5 政府補助が太陽電池のイノベーションを阻害する¹⁴⁹

要約

再生可能エネルギーの基礎研究や技術開発は大いに進めるべきであり、そこには政府の役割がある。しかしその一方で、現状では、政府はむしろ太陽電池のイノベーションを邪魔している。

再生可能エネルギー全量買取制度（FIT）が電気料金高騰を通じてイノベーションを阻害していることは既に述べた。

これに加えて、じつはFITでは既存技術（＝多結晶シリコン太陽電池）への補助がなされていて、ペロブスカイト太陽電池等、次世代の太陽電池のイノベーションの妨害になっている。既に普及段階にある多結晶シリコン太陽電池への補助は打ち切るべきだ。

一般的に言って、既存技術の普及を政府が補助するということは、それがどのような制度であれ、新規の技術のイノベーションのためには有害な可能性が高い。いま政府が進めている「FITの抜本的見直し」は、既存技術への「ロック・イン」を回避し、新規技術を育てる制度設計としなければならない

革新的な太陽電池への期待

一口に太陽光発電といっても、様々なタイプがある。現在、世界的に普及しているのは、多結晶シリコンを使用したものである。これは既に量産技術となっており、生産量の殆どは中国が占めていて、日本はそれを輸入しているのが現状だ。

ところで太陽電池には様々な方式がある。その中で、いま脚光を浴びているのが、ペロブスカイト太陽電池である。

ペロブスカイトというのは分子構造の名称で、図 3-4 の様なものだ。この M, O, R に様々な分子が入ることで新しい物質が生まれる。ペロブスカイト太陽電池にも色々あるが、基本

¹⁴⁹ 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/2019/09/sugiyama190918/>

形としては、Mの場所に鉛（Pb）が入り、Oの場所はヨウ素（I）または臭素（Br）が、Rの場所にNH₃CH₃が入る。

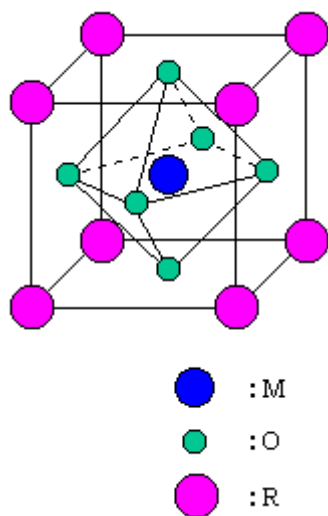


図 3-4 ペロブスカイト

このペロブスカイト太陽電池は、高効率、軽量、フィルム状でフレキシブル、製造エネルギーが少ない、といったあらゆる望ましい性質を備えつつある。かつ、材料費、製造費、設置費の全てが安価になって、シリコン系の太陽電池を凌駕すると期待されている。¹⁵⁰

¹⁵⁰ ペロブスカイト太陽電池の分かり易い解説として、松本真由美、次世代の革新的太陽電池の可能性

<https://www.sankei.com/premium/news/190902/prm1909020004-n1.html>

なお、専門家による、より詳しい解説については以下リンクを参考

<https://www.jst.go.jp/seika/bt107-108.html>

<https://www.cc.toin.ac.jp/sc/miyasaka/research/index.html>

<https://www.natureasia.com/ja->

<https://www.natureasia.com/ja-ndigest/v16/n9/%E3%83%9A%E3%83%AD%E3%83%96%E3%82%B9%E3%82%AB%E3%82%A4%E3%83%88%E5%A4AA%E9%99%BD%E9%9B%BB%E6%B1%A0%E3%81%8C%E7%9B%B4%E9%9D%A2%E3%81%99%E3%82%8B%E7%8F%BE%E5%AE%9F/100096>

FITの抜本見直しのあり方

さて現在、日本政府はFITの「抜本の見直し」を進めている。見直す理由は、従来のFITでは、賦課金等の費用負担が非常に大きくなり、かつ、太陽光発電の価格の高止まりを招いてきたためだ。¹⁵¹ ¹⁵²

ただし、これまでの議論を見ていると、何等かの形で「既存技術である多結晶シリコン太陽電池を補助し続ける」という基本スタンスは変わりそうにない。このことに、筆者は危惧を感じる。既存の技術を支援するということは、それがどのような制度であれ、新規の技術のイノベーションのためには有害な可能性が高いからだ。

例を挙げてみよう。開発途上国では、貧困者への配慮からガソリンに補助金を出している場合が多い。けれども、これはもちろん、ハイブリッド自動車などの省エネ技術や、電気自動車の普及への妨げとなる。

じつはこれと同様なことが、再エネ技術同士でも起きる。既存の多結晶シリコン太陽電池の普及を促進することは、ペロブスカイト太陽電池と競合し、イノベーションの妨げとなる。

いま、太陽光発電の普及の制約要因としては、電力システムの制約があり、立地場所の制約がある。立地制約には、屋根や空き地といった設置スペースの制約に加えて、景観破壊や森林破壊などの環境問題も関係する。

多結晶シリコン太陽電池は、急激に普及してきたものの、太陽光発電が世界の電力供給に占める割合は未だ2.6%に過ぎず、エネルギー供給に占める割合では1%に満たない¹⁵³。太陽光発電は、未だその黎明期にあるのだ。本当に世界のエネルギー供給において主力となる太陽光発電技術が、多結晶シリコン太陽電池であるという保障は全くない。

太陽光発電全体を考えるならば、多結晶シリコン太陽電池を急いで大量に導入するよりも、やらなければならないことがある。第1に、電力システムの制約に対処することで、これにはバッテリー等の技術開発を進める必要がある。第2に、立地制約に対しては、土地を多く

¹⁵¹ 「抜本の見直し」の解説として、例えば、松本真由美 FIT制度の抜本見直しに向けて： 国際エネルギー機関の論客が語る日本への提言

http://ieei.or.jp/2019/08/special201310_01_069/

¹⁵² 太陽光発電価格の高止まりについての分析は、例えば： 日本の太陽光発電の発電コスト：現状と将来推計、木村啓二、日本自然エネルギー財団

https://www.renewable-ei.org/pdfdownload/activities/Report_SolarCost_201907.pdf

日本とドイツにおける太陽光発電のコスト比較 ～日本の太陽光発電はなぜ高いか～木村啓二、日本自然エネルギー財団

[https://www.renewable-](https://www.renewable-ei.org/images/pdf/20160113/JREF_Japan_Germany_solarpower_costcomparison.pdf)

[ei.org/images/pdf/20160113/JREF_Japan_Germany_solarpower_costcomparison.pdf](https://www.renewable-ei.org/images/pdf/20160113/JREF_Japan_Germany_solarpower_costcomparison.pdf)

¹⁵³ 発電量のデータは2018年のもの。国際エネルギー機関・太陽光発電システム研究協力プログラム

(IEA PVPS) 報告書 世界の太陽光発電市場の導入量速報値に関する報告書 (第7版、2019年4月発行)

(翻訳版) IEA PVPS 報告書 T1-35: 2019 p15 <https://www.nedo.go.jp/content/100785821.pdf>

利用する現状の太陽電池ではなく、効率が良くて場所を取らず、多様な形に加工出来て、他の建造物と一体化した施工がやり易い、といった特徴を有する太陽電池が望ましい。ペロブスカイト太陽電池はまさにこの性質を備える有力候補である。

多結晶シリコン太陽電池の大量導入を続けることは、系統制約や立地制約のある中で、条件のよい太陽光発電案件のポテンシャルを食い尽くしてしまうことになる。多結晶シリコン太陽電池によって、使い勝手の良い立地場所が占められてしまい、あるいは、電力の系統制約の限界に達してしまえば、ペロブスカイト太陽電池の性能が向上しても、その普及は困難になる。

再び例えるならば、ブラウン管テレビが全盛で、液晶フラットディスプレイが黎明期だった 20 年前に、仮に、「高効率ブラウン管テレビ」を政府の補助金で大量導入していたならば、何が起きたであろうか。補助金が無駄になるのみならず、液晶フラットディスプレイの導入は遅れ、イノベーションは進まなかったであろう。

以上の検討から、既存の多結晶シリコン太陽光発電については、その普及策を停止ないし大幅に縮小すべきだ。それに変えて、ペロブスカイト太陽電池を初めとして、多様な太陽光発電技術の技術開発を支援すべきだ。これに加えて、更に、バッテリー等、電力系統制約を除くための基礎研究や技術開発を支援すべきだ。

産業政策としても、多結晶シリコン太陽電池はすでに中国で量産されている段階であり、日本企業は太刀打ちできない。これに対して、ペロブスカイト太陽電池は、技術開発に多くの日本の研究機関・企業が関わっており、これから日本の産業として育つ可能性がある。日本は材料設計の研究開発、製造技術の開発、製造設備の開発などにおいて、優れた産業基盤があり、これから世界を席捲する可能性がおおいにある。

本稿で述べてきたことは、決してペロブスカイト太陽電池のみに留まるものではない。重要なことは、①太陽電池は様々な材料によって製造されうること、②その性能は飛躍的に向上する可能性があること、そして、③材料研究は急速に進歩することである。

これには計算機能力が向上して原子サイズのシミュレーションが出来るようになったこと、またナノテクノロジーと呼ばれる微細な物理現象の理解や加工技術・計測技術が発達したことが効いている。ペロブスカイト太陽電池もこれらの技術の蓄積をフル活用して生まれてきた。そしてこれからも、続々と新しい太陽電池が考案され、開発されてゆくだろう。このイノベーションの躍動の波をどのように育てるか、このことこそが、未だ黎明期にある太陽電池技術の支援政策において、もっとも肝要な点である。

6 新しいエネルギー多消費産業として「クラウド」を育てよう¹⁵⁴

要約

温暖化対策としてデジタル化の推進が鍵であると述べた。この際、重要なテーマの1つがクラウドの電力消費となる。

クラウドの電力消費の伸びはこれまでは省エネ技術の進歩で抑制されてきた。だが今後はどうなるか。AI、動画に加え、IOT、自動運転等により、データセンターとインターネット用の電力消費は急速に増大するかもしれない。

クラウドは新たな経済成長の原動力であるのみならず、エネルギー多消費産業でもあるとの認識の下、その繁栄を支えるため、安価で安定した電力供給が求められる。

そのことによって、短期的には電力消費は増大するかもしれないが、クラウド技術の発展は、長期的には温暖化対策に大いに貢献するだろう。

コロナ禍でデジタル革命に拍車がかかる

コロナ禍を契機として、経済のデジタル化が一気に進んでいる。テレワーク、ビデオ会議、リモート教育、リモート医療、リモート薬局、リモート行政、製造業の省人化・自動化・スマート化等である。

これらデジタル技術はこれまでも存在したが、制度・規制や慣習・ビジネスモデルが確立しておらず、なかなか普及が進まなかった。いまそれが、コロナ禍という必要性に迫られ、多様な試行錯誤が行われ、社会的な障壁が取り除かれるという所謂「社会的イノベーション」が一気に進んでいる。

もちろん一筋縄ではいかない。しかし世界中で、あらゆる取り組みがなされ、相互に学習が進む中で、確実に社会的イノベーションは進む。そしてこれは、新たな技術的イノベーションの契機ともなる。今我々は、デジタル化という一大革命に拍車が掛かる現場を目撃している。

省エネで ICT の電力消費は抑制されてきた

このデジタル革命の帰結として、ICT の電力消費はどうか？ これまでのところは、必要なサービス量の伸びは急速であったものの、それに負けずにエネルギー効率が向上したので、ICT の電力消費は抑制され、全電力消費の10%程度で推移してきた。なおここで言う ICT の電力消費としては、ディスプレイやパソコン、スマホなどといった端末機器、インターネットの電力消費、データセンターの電力消費、それらを製造するためのエネルギーなどを広く含んでいる (IEA, 2017)。

¹⁵⁴ 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/2020/05/sugiyama200515/>

将来についても、ICT の電力消費はさほど大きくならない、という見方がよく示される。国際エネルギー機関 IEA も、「今後 5 年程度は」という但し書き付きであるが、そう述べている。ただし IEA は、それ以降については ICT 技術が急激に変化するので見通せない、と慎重な姿勢でもある。(IEA, 2017)

その一方で、ICT を活用することで、社会全体がスマート化し、大幅な省エネが可能になる、という見方が多く提示されている (IEA, 2017) (杉山大志, 2018b)。IPCC の 1.5 度特別報告書でも、ICT の活用で大幅な省エネが進む、とするシナリオが提示されている。これらのシナリオの共通点は、ICT による省エネのポテンシャルに専ら注目しており、ICT 自体の電力消費はさほど大きく伸びない、と想定していることにある。

クラウドの電力消費が爆発的に伸びる？

だがこのような見方に反して、クラウドを中心に、ICT 用の電力消費は爆発的に増大するのではないか、との意見がある (Mills, 2020)

これまでは ICT 用の電力消費と言えば、前述のようにパソコンなどの端末機器がその半分であり、次いで機器製造時の電力等であった。だが Mills は、クラウド利用に伴って、データセンターとインターネット回線利用でのエネルギー消費が爆発的に増える、とする。この結果、試算によっては、2030 年の世界の ICT 用電力消費は、世界の電力消費の 2 割 (誤差範囲は 1 割から 5 割) に達する、という (図 3-5)¹⁵⁵。

¹⁵⁵ (Andrae & Edler, 2015) (Jones, 2018)

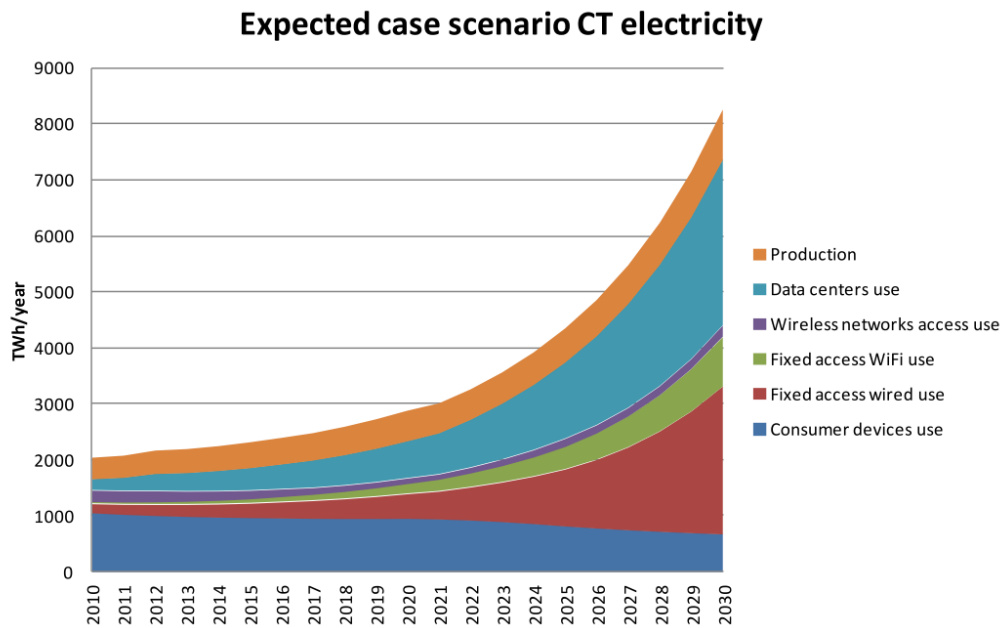


図 3-5 ICT による世界の電力消費の試算例。消費者端末の電力消費とそれらの製造時の電力消費はそれほど伸びないが、データセンターとインターネットの消費が爆発的に増える、としている。¹⁵⁶

Mills は、これからの ICT の電力消費は、「クラウドで何をするか」によって決定的に異なる、と指摘する。クラウドの電力消費を増やしてきたのは、これまでは AI と動画であった。今後これに、VR、自動運転、IOT 等が加わる。

電力消費におけるクラウドの決定的重要性を示す例として、「スマホの電力消費の 99%はスマホの外のクラウドで発生している」と Mills は指摘する。クラウドの分を含めれば、スマホ 1 台あたりの電力消費はじつは冷蔵庫 1 台よりも多い、という（ただしこの試算には、過大評価である、との批判がある）。「スマホは携帯電話やカメラ等の多くの他の機器を 1 台で代替するので省エネだ」とする意見があるが、これは一面的な見方に過ぎないということだ。

AI の機械学習に必要な世界の電力消費は巨大になっており、数か月で倍増している。ムーアの法則のハイパーバージョンと言える。Facebook は、データセンターの電力消費が毎年倍増しているが、Mills は、AI がその主な理由だとしている。最先端の AI のトレーニングにおける計算量は 2012 年までは 2 年で倍増していたが、2012 年以降はこの倍増に要する時間は 7 分の 1 に短縮され、4 カ月弱になった (Hao, 2019)。

AI の中でも、特に自然言語の機械学習アルゴリズムが急速に発展しているが、この電力消費が莫大になっている。例えば Transformer という自然言語処理 AI の機械学習を 1 回実施す

¹⁵⁶ (Andrae & Edler, 2015) <https://www.mdpi.com/2078-1547/6/1/117>

るための CO2 排出は、米国人 20 人分の生涯 CO2 排出量に相当するという (Strubell, Ganesh, & McCallum, 2019)。電力消費が巨大になる理由の 1 つは、単なる機械学習ではなく、機械学習を行うモデルの構造自体 (例えばニューラルネットワークの大きさ等) といった「ハイパーパラメーター」の学習もするようになった為である。

動画もクラウドの電力消費を押し上げている。インターネット通信量における Netflix 等のオンライン動画の割合は増えつつあり、Cisco によれば、2022 年には全体の 82% に達する (Cisco, 2018)。動画については、やがて、VR に置き換わると見られるが、すると画素のデータ量は 1000 倍になり、インターネットの通信量は 20 倍になる (Mills, 2020)。

自動運転車が導入されると、リアルタイムのデータ通信が必要になり、それをリアルタイムで AI が分析することになる。これは IOT も同様である。趨勢として、M2M (Machine to Machine) という形で、人間が介在せずにデータが集められ、それを AI が分析するようになる場面が増えるが、これによって、データの蓄積速度や AI の計算量がますます増大する。

以上のような要因によって本当にクラウドの電力消費が爆発的に増大するかどうかは分からない。これまでも、ICT の電力消費増大を懸念する予言はあったが、省エネの進展によって杞憂に終わってきた (IEA, 2017)。今後も同様に、杞憂に終わるのではないか、という意見もある (Jones, 2018)。

経済成長の原動力としてのクラウド

さて、クラウドの電力消費が増大するかもしれないが、ではその電力消費は、地理的には何処に発生するのだろうか。

「クラウド」というぐらいだから、世界中の何処に在っても同じかということ、そうではない。ビッグデータがますます巨大化するにつれて、それを動かすにも、またそれを読みだして機械学習をするにも、コストと時間が掛かるようになった。このためデータと AI は地理的に近接して存在する方が好ましい。データには「重力 gravity」がある、と形容される所以である (Mills, 2020)。

データが国内に蓄積され、その重力で AI が引き寄せられ、多様なアプリケーションやサービスが生まれる、その活動を介して更にデータが蓄積される、という好循環を是非日本国内で作りたと思う。これは、データセンターとインターネット回線が、世界最高水準で国内に整備されることを伴うはずだ。これが新しい経済の重要インフラないしは産業コンピナートの形であり、国益を掛けて整備すべきものだろう。

データセンターとしてもっとも大規模化・効率化が進んでいるハイパースケール・データセンターは、2019 年第 3 四半期現在、世界で 504 あり、そのシェアは、米国が 38%、中国が 10% であるが、日本も第 3 位で 7% となっている (Synergy Research Group, 2019)。こと

ICTに関しては、日本はとかく遅れていると言われるが、この指標で見れば世界第3位の立派なクラウド大国であり、この地位は維持・向上してゆくべきではなかろうか。

エネルギー多消費産業としてクラウドを育てる

クラウドは経済成長の原動力であり、同時に、エネルギー多消費である。どこまで電力消費が伸びるかは不確実性があるにせよ、エネルギー多消費であることに間違いはない。クラウドは新しいエネルギー多消費産業なのだ。そして、かつて鉄鋼業が経済を牽引したように、これからはクラウドが経済を牽引する。

この時のエネルギー政策の役割は何か？ これは今も昔も変わらない。安定・安価な電力供給によって、裏方として、産業の発展を支えることだ。

台湾では、パソコン関連のエレクトロニクス産業が興隆し、産業部門 GDP の 47%を叩き出し、産業部門電力消費の 35%、全国の電力消費の 18%を占める一大エネルギー多消費産業となった(杉山大志, 2018a)。この成功には幾つもの理由があったけれども、電力という側面からは、石炭火力を主力とする安定・安価な発電がこれを支えた。残念ながら、日本ではエレクトロニクス産業が発達出来なかった。今度こそ、日本はクラウドを支えて、一大産業を築くべきだ。

温暖化対策としてクラウドを育てる

国内でクラウドが興隆すれば、その当面の電力消費は増えるだろう。これは歓迎すべきことである。国内で新しい産業が起きることだからだ。だが温暖化対策の観点からは、クラウドの電力消費増大を「好ましくない」とする意見もある。

だが温暖化対策という側面から見ても、じつは長い目で見ればプラスになる。クラウドを中心として、経済をスマート化する技術やサービス形態が次々に開発されるからだ。ひとたびスマートな技術・サービスが出来れば、それは世界全体で使える。それが日本発ならなお望ましい。

そして短期的に電力消費が増大することに、温暖化対策の観点からあまりとやかく言うべきではない。省エネは後から出来るからだ。過去数年、クラウドの省エネは、小型で効率の悪い古いデータセンターを、大型で高効率なハイパースケール・データセンターに置き換えることでなされてきた(Jones, 2018)。

ICTの世界では、10年も経てば技術は全て入れ替わる。だから、仮にいま電力多消費であっても、10年後には全く別の技術で置き換わることになる。省エネについての要請が強まれば、その時には省エネ型のもので置き換えてゆくことになるだろう。その時には、省エネ技術自体も、長足の進歩を遂げているだろう。

「効率が良い新しい機器で置き換えて省エネを図る」という構図は、歴史的に、あらゆる技術に見られた。液晶フラットディスプレイは、出始めの頃こそ省エネ性能は良く無かったが、やがてブラウン管テレビを凌駕した。火力発電所も、その高効率化は、小型で古い設備を大型で新しい設備に置き換えるという形を取った。クラウドの省エネも同様であろう。そしてクラウドの技術進歩は、ディスプレイや発電所よりも急激なので、省エネも急速に進むだろう。

クラウドの国内立地は促進すべきであり、それに伴う電力消費の増大は歓迎すべきことである。それが技術的・社会的イノベーションを促し、経済成長をもたらす。そこで生まれた技術は、ほどなく、経済のスマート化を通じて、大幅な省エネと温暖化対策を可能とする。その恩恵は世界に行き渡るはずだ。

7 コロナ禍で「シェアリングでエコ」というシナリオが崩壊するのか

157

要約

温暖化対策としてデジタル化の推進が鍵であると述べたが、これに関するもう 1 つの重要なテーマがシェアリングである。

環境問題の研究者や運動家の多くが、デジタル技術の進展と相俟って、「人々の価値観が変わり、モノの所有が時代遅れとなり、シェアリングによって環境負荷が下がる」というシナリオを唱道してきた。だがコロナ禍は、これに巨大な疑問符を突き付けている。歴史的に、人々の衛生観念は強くなる一方であったし、今後もこのトレンドは変わらないだろう。ならば、モノやスペースはますます所有されるようになり、シェアリングはむしろ減るのではないか。これはエネルギー消費の増大を意味する。つまり省エネのハードルは高くなる。だが、この解決策を与えるのも、やはりデジタル技術であろう。

シェアリングでエコというシナリオ

コロナ禍の直前まで、「デジタル化の進展に相俟って、モノ・スペースのシェアリングが進み、所有が減るため、環境負荷も減る」というシナリオが環境問題の研究者の間で流行し、運動家の支持を得ていた。

例えば IPCC が 2018 年にまとめた「低エネルギー需要シナリオ」においては、デジタル化と組み合わせたモノのシェアリングが大幅な CO2 削減に寄与すると想定されている¹⁵⁸。IEA

¹⁵⁷ 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/2020/05/sugiyama200529/>

¹⁵⁸ <https://www.ipcc.ch/sr15/>

が2017年にまとめた「デジタル化とエネルギー」報告書でも、デジタル化による省エネの技術的可能性が検討された¹⁵⁹。

部門別の検討もされた。最も注目を集めてきたのは、自動車のシェアリングによって、自動車の台数が減る、というものである。自動車は、現在、僅か5%の時間しか利用されておらず、95%の時間は駐車しているという。これをデジタル技術によってシェアリングすることで、大幅に少ない自動車台数で、モビリティの需要に対応できる、というシナリオが描かれた。

ホテルについても、空き室があれば、デジタル技術を用いて宿泊客を泊めることで、新たなホテル建設需要などを抑制できる、とされた。オフィスについても、シェアリングされるレンタルスペースがあることで、オフィスを所有する必要がなくなる、とされた。衣服についても、多くの衣服を買い込んでクローゼットにため込むのではなく、デジタル技術を用いて、好きな時に、好きな衣服をレンタルする、とされた。

何れも、単にシナリオが描かれただけでなく、その先駆と見られるビジネスモデルが成功しており、将来を示唆するものとされた。自動車のシェアリングではUBER、衣服ではエアクローゼット、ホテルではエアビーエヌビー等が登場した。

シェアリングが進む理由については、「デジタル化などの技術進歩と経済性の改善」を主な理由とする「技術的イノベーション」を重視する見方（筆者もこちらの立場だった¹⁶⁰）と、「人々の価値観が変わる」という「社会的イノベーション」を重視する意見があった（IPCCもそうだが環境研究者・運動家はこちらが多い）。後者では、「モノを持つのは格好悪くまた煩わしいことであり、モノを持たず必要な時だけモノを借りる、という簡素なライフスタイルが好まれる」という価値観が広がる、とされた。

コロナ禍で打撃を受けたシェアリングビジネス

だがコロナ禍で、接触感染や飛沫感染を避ける必要が認識されて、モノのシェアリングには強烈的な逆風が吹いている。

UBERの経営は危機に瀕している。UBERだけではなく、伝統的なシェアリングであるタクシー、レンタカー、鉄道、バスも敬遠されている。それに代えて人々が選んでいるのはマイカーである。コロナ禍が他国より先に収まった北京では、鉄道利用者は以前に比べ半減し、マイカー利用は以前より増えた¹⁶¹。武漢でもマイカーで交通渋滞が起きている¹⁶²。同様に、

¹⁵⁹ <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>

¹⁶⁰ 拙著、<http://ieei.or.jp/2019/01/sugiyama190131/>

¹⁶¹ https://about.bnef.com/blog/gridlock-in-beijing-as-commuters-shun-public-transport/?utm_source=CCNet+Newsletter&utm_campaign=fccae62373-EMAIL_CAMPAIGN_2020_05_20_10_49&utm_medium=email&utm_term=0_fe4b2f45ef-fccae62373-36445525&mc_cid=fccae62373&mc_eid=5259baafe7

¹⁶² https://www.city-journal.org/covid-19-will-intensify-dominance-of-oil?utm_source=CCNet+Newsletter&utm_campaign=db04faa471-

世界中で公共交通からマイカーへのシフトが進むと予想される¹⁶³。これはシェアリングとは明らかに逆行している。

シェアリングを環境問題の研究者や運動家が語るとき、それは大量生産・大量所有・大量消費へのアンチテーゼとしての「価値観」ないし「規範」が共有されてゆく、という考えに基づいていた。だがこのような規範がどの程度の力を持ちうるか、という真剣な分析は欠落していた。せいぜい、タバコに関する人々の態度が変わったから、環境問題についても変わるだろう、という程度の議論に留まっていた。

今回分かったことは、衛生への関心の向上こそは、じつは、絶えまない強力なメガトレンドであり、社会経済の在り方を規定するドライバーになるのではないか、ということである。

欧州でも日本でも、昔は誰もが不潔だったが¹⁶⁴、今の人は極めて清潔だ。消毒しすぎて、そのせいでむしろアレルギーになっているのではないか、と言われるほどだ（アレルギーの原因の「衛生仮説」という）。実際のところ、これ以上清潔にすることがどこまで科学的に合理性があるかはよく分からない。しかし、人々は年々清潔好きになっているというトレンドは事実として確認できる。身の回りはますます除菌グッズであふれるようになった。

衛生への関心が高まると、人はモノを他人と共有しなくなる。スペースも共有しない。これが今起きていることである。紫原明子氏がアンケートへの回答を紹介している：

「物を所有することに興味を持ち始めました。長いことシェアハウスに住み、シェアリングエコノミー信者のミニマリストだったのですが、まさかシェアすることがウイルス感染リスクになるとは考えもしていませんでした。

どんなに自粛しても家には他人がウロチョロしているし、安全に移動したくても車を持っていないので、自分の所有物がないことにストレスを感じます。新型コロナウイルスが落ち着いた後も、生活スタイルを変えざるをえない気がしています。(20代後半、会社員)」

165

じつは衛生への関心からモノを共有しないというのは、意識はされてなかったものの、これ迄もそうだったのかもしれない。環境研究者は、人がモノを持ちたがる理由としては、「モノを持つべきという伝統的な固定観念」のせいとか、「見せびらかしたいという顕示的消費だ」とか、「デジタル技術が未熟でマッチングが出来ないからだ」、といった理由をつけてきたが、じつは違ったのではないか、ということだ。

EMAIL_CAMPAIGN_2020_05_22_02_11&utm_medium=email&utm_term=0_fe4b2f45ef-db04faa471-36445525&mc_cid=db04faa471&mc_eid=5259baafe7

¹⁶³ <https://clieccar.com/2020/04/18/970648/>

¹⁶⁴ キャスリン・アシェンバーグ、図説 不潔の歴史、原書房； 大倉 幸宏、昔はよかった」と言うけれど：戦前のマナー・モラルから考える、新評論。

¹⁶⁵ <https://toyokeizai.net/articles/-/350993?page=4>

つまり、これ迄も、モノやスペースを他人と共有しなかった理由として、衛生観念なるものは、表立って意識はされていなくても、暗黙裡に、結構重要だったのかもしれない。電車の通勤が嫌で、マイカーを使っていた人は多い。飛行機のビジネスクラスでも電車のグリーン車でも、単に椅子が良いとか広いとかいうのではなく、他人との距離が離れていて「衛生的だ」ということが、暗に意識されていたのかもしれない。筆者の知り合いの経済学者は、だいぶ前、シェアリングのシナリオを見て「経済的に豊かになるのに、シェアなんてキモい、ありえない」と言っていた。

衛生観念の深化でエネルギー消費が増大する

これまでのモビリティでは、社会的距離はさほど意識されてこなかった。だがこれからは、社会的距離を確保する措置を取りながら、モビリティが復活してゆくことになる。まずはマイカーへのシフトが起きるが、それに続いては、電車でも、バスでも、飛行機でも、スペースを広くとり、他の客と物理的に隔離された乗車の形が模索されてゆくだろう。

同様のことは、あらゆる建築物でも起きる。まずは巣ごもり消費やデジタル化が進展するが、いつまでも巣ごもりだけではないし、またデジタル化はリアルを全て置き換えるには至らない。リアルな建築物は残り、そこでは、オフィス、病院、学校、レストラン、小売店、ホテル¹⁶⁶など、あらゆる場所で、スペースは広く取られ、客同士は隔離されるような内装が施されるようになるだろう。

モノのシェアリングも進まなくなる。中古品よりは新品が好まれる。繰り返し不特定多数にレンタルされるモノよりは、中古品の購入が好まれる。

この傾向は、経済が成長して人々の所得が向上すると、ますます進むだろう。環境研究者や環境運動家は、「価値観の変化こそがシェアリングの原動力である」と考えていた。だがこれは思い込みに過ぎなかったかもしれない。野村総研のアンケートを見ても、シェアリングをする人々にとって、最大の理由は経済的動機であった¹⁶⁷。シェアリングが始まったころは価値観に基づいてシェアリングをしたいという人が主だったのかもしれないが、今ではそれは稀になり、単にモノを買えないから、あるいは安く上げたいからシェアリングをしているに過ぎないのである。と言うことは、時が経ち、人々の所得が向上するにつれ、シェアリングからは離れてゆくことになる。

C02 排出量の将来は： デジタル技術はますます重要になる

モノやスペースのシェアリングが進まず、むしろマイカーや広いスペースが好まれるとなると、その様相は「車社会、何でも所有、しかも大型」となるから、いまの米国に似てく

¹⁶⁶ <https://www.travelvoice.jp/20200518-146182>

¹⁶⁷ <https://www.nri.com/jp/keyword/proposal/20200519/06>

る。米国の一人当たりエネルギー消費は日本の倍もあるから¹⁶⁸、日本が「米国化」するならば、エネルギー消費は増えることになる。

他方でももちろん、デジタル化することで省エネルギーの技術は進展する。AI・IOTを活用して、人の居る場所だけエアコンをかけ照明をつける、といったことが進展している。またコロナ禍を契機として、会議・出張、医療¹⁶⁹、教育¹⁷⁰、¹⁷¹、製造業¹⁷²など、あらゆる分野で、デジタル化が進んでいる。これは生産性を向上させるのみならず、通勤通学といった移動や会議室・オフィスの冷暖房の為のエネルギー需要を削減する機会をもたらす。

のみならず、AI・IOTは、社会的距離を保つためにも応用されつつある。以前から、道路や電車の混雑を避けるためにAI・IOTは活用されているし、類似の技術が、あらゆる混雑を避けるために発達するだろう。「社会的距離を保ちつつ、経済的な生産性を上げ、省エネも図る」という3つの目的を同時達成するために、デジタル技術は大いに活躍するだろう。

将来シナリオのドライバーとしての衛生観念

将来のエネルギー消費を決めるドライバーとして、デジタル技術による省エネは、近年、注目を集めてきた。そして、IPCCなどのシナリオにおいては、これが規範的な動機によるシェアリングと結びつけられて論じられてきた。

しかし、いま実際にエネルギー消費を動かしているドライバーは、衛生観念の進展であり、それによるエネルギー増大の可能性もある。

コロナ禍によって、エネルギー消費のシナリオを描くにあたっては、人々の衛生観念がどう変遷し、それが経済活動にどう影響するか、という視点が重要であることが分かった。今後も、コロナ禍の第2派、あるいは別の伝染病があるかもしれない。既存の感染症への対応としても、インフルエンザに罹患するとまとめて休暇をとるなど、昔は考えられなかった水準まで対応が厳しくなってきた。今後はインフルエンザへの対応としても社会的距離ということが言われるようになるかもしれない。清潔志向というのは、長い時間をかけて一方的に強化してゆくトレンドであることに気をつけるべきだ。

将来シナリオには「こうあって欲しい」という願望や価値観が反映されることがある。というよりは、むしろ特定の思想を唱道するためにシナリオが作成されることがある。特に、こと環境問題に関わると、これが顕著になる。

しかし、現実的なシナリオとなるためには、願望を入れ込む以前の段階として、何が将来の形を変える原動力（シナリオ分析ではドライバーと呼ばれる）なのか、それがどのように

¹⁶⁸ <https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2019html/2-2-1.html>

¹⁶⁹ <https://www.minnanokaigo.com/news/kaigogaku/no789/>

¹⁷⁰ <https://study-for.com/study-for/23248/>

¹⁷¹ <https://www.nice2meet.us/how-online-courses-can-change-education>

¹⁷² https://www.rieti.go.jp/jp/columns/a01_0586.html

将来の社会経済に作用するか、これをまず見極めなければならない。さもないと、単なる絵に描いた餅に終わってしまう。

今回分かったことは、衛生観念というドライバーが、モノやスペースのシェアリングに与える悪影響が甚大であること、そしてそれがエネルギー消費を増大させるよう作用するであろう、ということであった。

なお衛生観念は、外国人嫌いや人種差別とも類縁の関係にある、根の深いものである。米国で個人住宅用のプールが増えた背景には、従前は存在した共用プール使用にあたっての人種差別が、公民権運動によって禁止された結果、裕福な人々が共用プールを避けるようになった、という事情があったという。

最後に但し書きをする。執筆現在では想像しにくいだが、人々が、リスクを厭わずに、コロナ禍以前の社会に戻り、以前と同じ様に交わるようになる可能性もある。人と触れ合うのは根源的な欲求だからだ。人類は感染症には何度も酷い目に遭ってきたし、部族の全滅も何度もあったにも拘わらず、「社会的距離を保つ」ようには文化は進化しなかった。この理由は、人と親密に交わり団結して働くメリットが、感染症のデメリットを上回ったということであろう。だから現代人も、もしも冷静なリスク計算に基づいて行動するならば、コロナ禍以前の社会に戻るかもしれない。だが現代人がそのように行動できるかが難しいところで、むしろ衛生観念は強化される一方だ、と現時点では筆者は見ている。

8 日本の石炭戦略 ¹⁷³

要約

コロナ禍からの経済回復のためには安定安価な電力が必要であると述べたが、石炭火力発電はその重要な柱である。だが近年、温暖化問題への懸念から石炭火力発電への風当たりが強い。しかしながら、日本は、石炭火力発電を内外で堅持しなければならない。その理由を述べ、今後の日本の石炭利用の戦略を構想する。

エネルギー安全保障のための石炭火力

いま時の人である某大学教授が某大手新聞の記事で「石炭も輸入するから石油や天然ガスと同じでエネルギー安全保障には寄与しない」と宣っていて驚いた。どうやらエネルギー政策の初歩を全く知らないらしい。教授も新聞も呆れたものだ。

そもそも日本が石炭火力発電の拡大を始めたのは、1973年のオイルショックを受けてからだ。当時、日本の一次エネルギー供給の76%、電力供給の73%は石油に依存していた（図3-6）。そこに中東の政治的・軍事的緊張による石油供給逼迫と価格高騰の波が押し寄せた。

¹⁷³ 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/2019/06/sugiyama190620/>

日本のエネルギーの安定的な供給には、大きなリスクが存在したことが思い知らされたのである。この状況を打開するため、エネルギー源の多様化の一環として、天然ガス火力、原子力と並んで導入されたのが石炭火力だった。

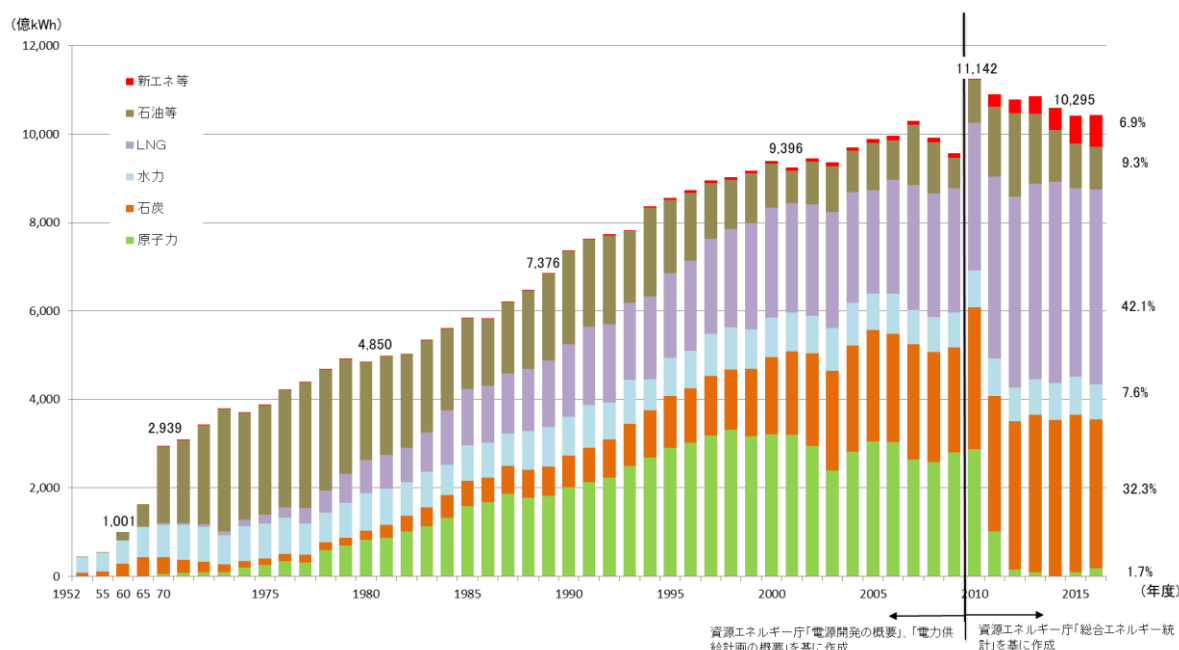


図 3-6 日本の発電用エネルギー構成¹⁷⁴

これにより、日本の一次エネルギー供給の石油依存度は約 4 割まで下がった。しかしなお、石油の 9 割、また天然ガスの 2 割は中東に依存しており、政治的・軍事的緊張によっては供給が急減する虞がある。いざという時に最低限の電力供給を続けるためには、石炭火力発電が不可欠である。あるいは、量としての供給は続いても、石油と天然ガスは価格が連動して高騰する傾向にあるところ、石炭の価格は低く安定してきた（図 3-7）。

従って、石油・天然ガスの価格高騰時に、電力価格も共に高騰するのを避けるためにも、石炭火力は不可欠である。これには失敗の前例がある。天然ガスにシフトをし過ぎた結果、イタリアでは天然ガス価格高騰時に、深刻な電力価格の高騰に陥った¹⁷⁵。

石炭は、価格面のみならず、供給の安定性に於いても優れている。火力発電に用いる石炭である一般炭の主な供給国は政治的に安定した豪州である。これに加えて、インドネシア、ロシア、米国、カナダ等、多様な供給国から輸入されている。中東依存度はゼロになってい

¹⁷⁴ 資源エネルギー庁 <https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2018html/2-1-4.html>

¹⁷⁵ 野村浩二（2015）「イタリアの電力価格高騰と産業構造変化」, RCGW Discussion Paper No. 54, 日本政策投資銀行 設備投資研究所 地球温暖化研究センター.
https://www.dbj.jp/ricf/pdf/research/DBJ_RCGW_DP54.pdf

る(図3-8)。(注: 石炭には、火力発電・セメント製造等に利用される燃料用の一般炭と、製鉄の原料となるコークス製造に利用される原料炭がある。本稿では専ら石炭火力発電について論じるので、ここでも一般炭について論じている。鉄などに使用する原料炭についての戦略は本稿では論じない。文献を参照されたい¹⁷⁶。

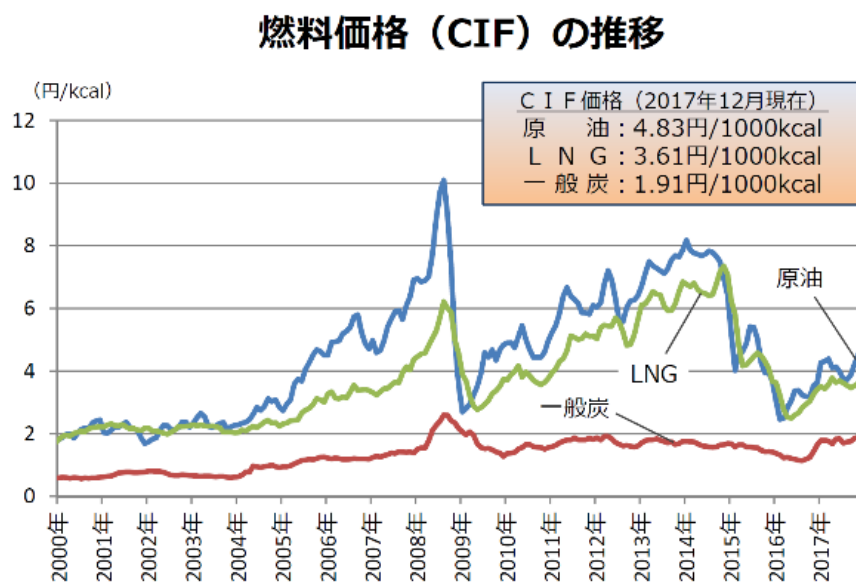


図 3-7 燃料価格の推移¹⁷⁷

¹⁷⁶ 日本鉄鋼連盟長期温暖化対策ビジョン『ゼロカーボンスチールへの挑戦』

<http://ieei.or.jp/2018/11/news181120/>

¹⁷⁷ 資源エネルギー庁 <https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/shared/img/rai0-2avl52ef.png>

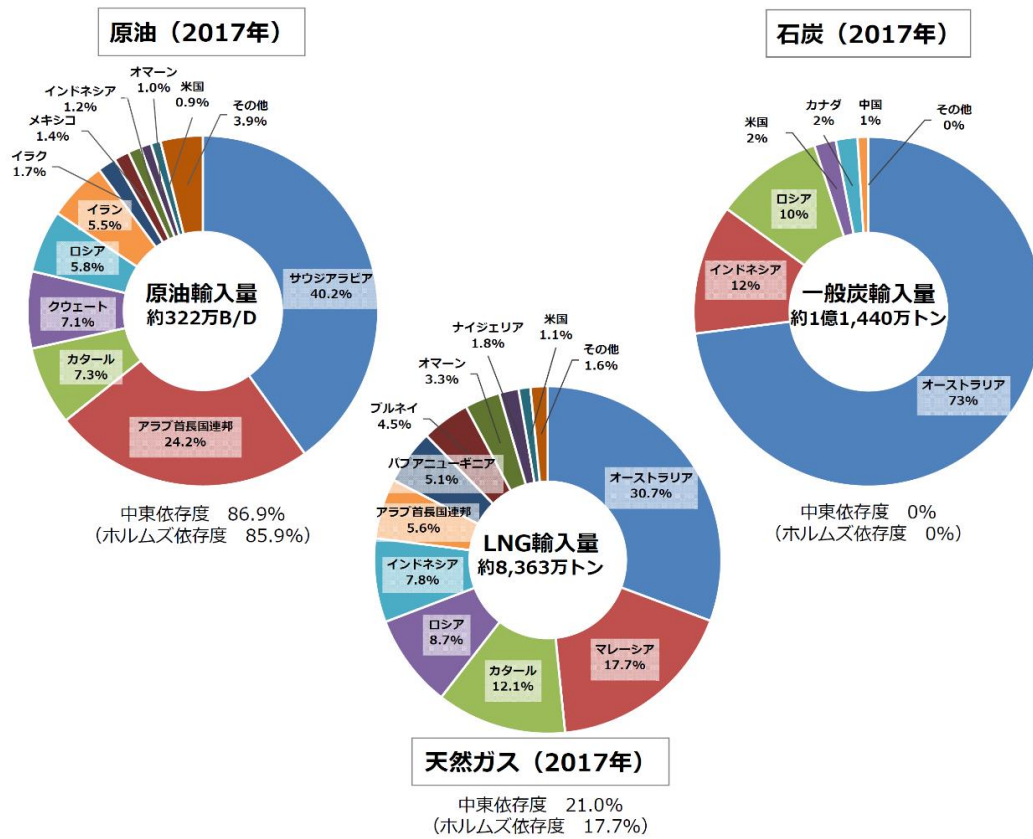


図 3-8 日本の化石燃料の輸入先と中東依存度（ホルムズ依存度）¹⁷⁸

「石炭火力発電は日本のエネルギー安全保障に不可欠」ということは、エネルギーや温暖化対策を論じる人は、誰でも知っている基礎知識だと筆者は思っていた。しかしどうやら大間違いだった。筆者だけでなく、経産省も産業界も電気事業者も同じ間違いを冒していると思う。ともすると、3E+Sとかベストミックスという言葉が政府文書に入っていればそれを以て良しとしてしまい、しつこく書き込んでこなかった。簡略なキーワードはよく解っている人の間でコミュニケーションをするには便利だけれど、丁寧に繰り返し説明しないと、幅広い聴衆には全然響かない。自称専門家の教授も大新聞の記者も全然分かっていない。関係者は一同で緊急に情報発信を強化しなければならない。

途上国の持続可能な経済開発のための石炭火力

安価で安定した電力供給は経済開発のために必須である。経済開発は、貧困撲滅、衛生状態の改善、教育、医療の充実など、あらゆる人道的な目標の達成のための基礎となる。石炭

¹⁷⁸ <https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/sekitanyakuwari.html>

火力には、この一角を担う重大な使命がある。これを先進国が独りよがりな論理で取り上げるとすれば、それは犯罪に等しい。

石炭火力ではなく、再生可能エネルギーにすることで、経済的便益を得つつ、大気汚染も軽減できる、という主張がある。しかしこれはごく稀な状況でしか起きないことであって、アジア、アフリカの多くの途上国では、石炭火力の方が圧倒的に経済的だ。

石炭火力の大気汚染でx万人が死亡するといった意見があるが、これはどうか。3つの点から考える必要がある。

第1に、大気汚染は対策技術が出来上がっているので、問題なく対処できる。

第2に、こういった数字は疫学調査によっているが、その根拠や論理は不確実性が極めて大きい。

第3に、電化による環境便益も極めて大きく、これを正當に評価すべきだ。

電気が無くて屋内で火を焚くと、室内大気汚染も大気汚染もひどい。ロンドンのスモッグはこれで起きたのだ。さらに、火を焚くために薪を採集すると、これは森林などの環境劣化を招く。これはアフリカの随所で起きている。

第4に、電化には莫大な経済便益があることを忘れてはならない。

先進国でも過去にはひどい大気汚染を経験した。しかし、石炭や石油といった安価なエネルギーを使い発電することで、大きく経済発展し、結果として人々の寿命は延び、健康になった。念のため述べておくと、筆者は、大気汚染は放置してよいと言うのではない。既存の技術でほぼ完全に対処できるのだから、そうすべきだと言っている。

その上で、電力が安定安価に供給される便益こそ、もっと適切に評価すべきだと言いたい。

電力は産業の発展に不可欠である。筆者はミャンマーに行ったことがある。縫製工場では、薄暗いところで女性の従業員が懸命にミシンを使っていた。ざっとみて500ルクスぐらいだったが、細かい作業を長時間するのだから、もっと明るく、1000ルクスぐらいにした方が良さそうだった。目が悪くならないか心配だったが、電気代を節約していた。更に、工場長の話では、停電が毎日何度もあり、そのたびに作業が中断するという事だった。その後、港に行くと、丸太が積んであり、中国に輸出して家具に加工するとのことだった。ミャンマーの人は勤勉だからなぜ自分たちで木材加工をしないのか疑問に思ったが、電力が安定して供給されないので、工場が作れないとのことだった。こういった話を思い起こし、また貧しい人々が、粗末な家から満員のトラックの荷台で通勤し、懸命に働く光景を思い出す。すると、先進国の独りよがりの論理で彼らから石炭火力という選択肢を奪うことには憤りを感じる。

途上国は、何が持続可能な開発に資するのかを、自分で決める権利がある。そして、このことを制度化することで、世界中の事業者にとって、安定した事業環境のもとで石炭火力を推進出来るようになるだろう。ここで制度化と言っているのは、例えば国の計画や法令において、石炭火力発電が当該国の持続可能な開発に寄与するという位置づけを明確にして、事業が円滑に進むよう規定を整えることを指している。

このような制度化の前例としては、京都議定書がある。同議定書 12 条で規定されたクリーン開発メカニズム(CDM)は、「持続可能な開発に資するプロジェクトであること」と規定され、諸国間でこの解釈を巡り交渉があった。結果として、持続可能性に資するか否かの判断は、プロジェクトが実施される途上国側に専ら委ねられることとなった。今後、先進諸国が手掛ける石炭火力事業についても、同様に、それが持続可能な開発に資するか否かの判断は、途上国が決定する旨を明確に制度化することが必要だ。

自由と平和のための石炭火力

以前にも書いたが、日本をはじめ先進国が石炭火力事業から撤退すると、その間隙の多くは中国が埋めることになる。これはかつてダム事業で起きたことでもある¹⁷⁹。

石炭火力のような、大きなインフラ案件というものは、単なる商売とは一段違う、国際政治上の意味合いがある。そこではトップレベルの政治家や官僚の信頼が醸成され、事業者や労働者が国際交流を深める。これにより二国間関係は深まる。日本はきちんとインフラ整備に寄与することで、尊敬を勝ち得て、諸国と親交を結ぶことが出来るのだ。

このためには、当該の途上国が望む事業であれば、出来る限り前向きに取り組むことが望ましい。何も石炭火力事業だけを何が何でもやれというのではない。当該途上国の資源賦存状況や経済状況において、その更なる経済開発に資するために、もしも石炭火力事業として魅力あるものが提案出来るならば、それは実施すべきだろう、ということだ。もしも当該途上国が真に石炭火力事業を欲しているときに、「それは我が国の方針ではない」と言って対応しないならば、二国間の関係にとって損失となる。

もしも当該国が日本ではなく中国の事業者を選んだならば、それはその国と中国の関係が一步深まることを意味する。中国はその国の政治・行政・民間レベルへの影響力を高め、その国は親中の立場をとるようになる。これは中国が一带一路政策で狙っていることそのものだ。わざわざその手助けを日本がするのだろうか。

日本はインフラ事業を通じて、アジアをはじめ諸途上国と親交を結び、その経済発展が自由で平和なものになるよう支援すべきだ。その為には、日本は石炭火力を含めてメリットある選択肢を示すことに徹し、何が持続可能な開発に資するか判断は、当該国に任せるべきである。

¹⁷⁹ <http://ieei.or.jp/2019/05/sugiyama190520/#more-49965>

温暖化対策としての電化に寄与する石炭火力

再び国内に目を転じよう。石炭火力に対する批判として、現時点で石炭火力が存在すると、それが長期にわたり CO2 排出を続け、長期的な温暖化対策を妨げる、という意見がある。しかし、この意見は誤りであることを論じよう。

日本の国全体の CO2 排出の 3 分の 2 を占める化石燃料の直接燃焼を電気利用で置き換えていかない限り、CO2 の大幅削減は原理的に不可能である。電気利用技術が、公正な条件のもとで市場に於いて競い合い、優れたものが普及していくためには、電力価格の高騰は避けねばならない。

性急に電気の低炭素化を図るあまり、EV やヒートポンプなどの電気利用技術のイノベーションが遅れるようでは、元も子もない。「角を矯めて牛を殺す」とはこのことであろう。そうならないよう、電力価格を抑制することも重視せねばならない。すると、今日の日本の状況においては、安価な石炭火力発電を利用することは、重要な手段である。

長期的な温暖化対策において、「電化」と「電気の低炭素化」は両輪であり、どちらも、長期的な視点に立って進めねばならない。電力価格を抑制することで、イノベーションを促進しつつ電化を進める一方で、電力価格が高騰しない範囲内に限定する形で、電気の低炭素化を進めることが望ましい（図 3-9）。

再生可能エネルギーについて言えば、現状では間欠性の問題があり、その導入には系統との統合のためのコストが嵩むので、性急に導入拡大をすべきではない。

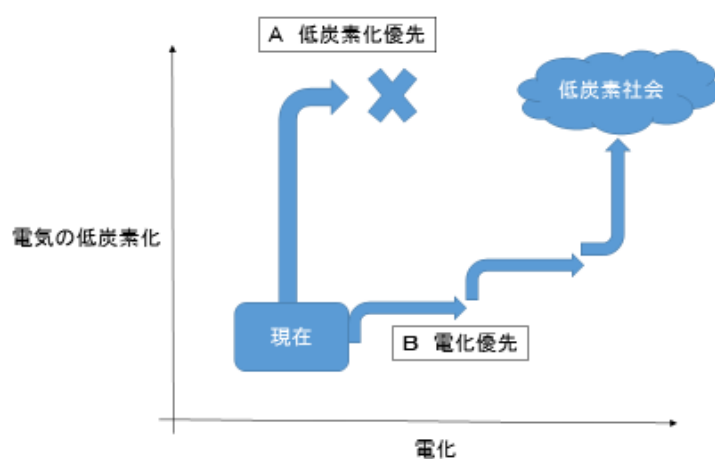


図 3-9 低炭素社会を実現する2つの経路。低炭素社会の実現のためには、電気の低炭素化(CO2原単位の低下)と電化(電力消費が最終エネルギー消費に占める割合の上昇)の両輪が必要である。
A: 性急な低炭素化によって電力価格が高騰すれば、電化が遅れ、低炭素社会も到来しない。
B: 電力価格を抑制することで電化を進め、徐々に電気の低炭素化を図る戦略が、低炭素社会への近道ではないか。

図 3-9 低炭素化を実現する2つの経路。低炭素化ではなく、電化を優先すべきであり、電力価格高騰は避けねばならない。

設備利用率の変化で CO2 の大幅削減は可能だ

2050 年頃に大幅に CO2 を削減するために、ただちに石炭火力を止めるべきだという意見があるが、これは間違いだ。

というのは、設備があるということと、CO2 が排出されるということは等価ではないからだ。設備利用率（＝発電設備の平均出力のこと。例えば定格出力の 80% で一年の 50% だけ稼働させると、設備利用率は 40% と計算される）は状況によって大きく変わらう。

日本はエネルギー安全保障のために、2030 年ごろまでは、石炭火力を一定程度維持する方針を打ち出していて、これは妥当であると思う。

そしてここで言いたいことは、この 2030 年までの方針は、2050 年までに大幅な CO2 削減をすることと全く矛盾しないということだ。もしも情勢の変化があれば、石炭火力の設備利用率を下げることにより、容易に CO2 を大幅削減できる。

「情勢の変化」としては、例えば以下がありうる：

- 1) シェールガス採掘技術が一層進歩し、また液化天然ガス(LNG)市場が国際的に成熟して、より安定安価に LNG が供給されるようになる。
- 2) 原子力の再稼働・新增設が進み、電源構成における比率が増す。
- 3) PV とバッテリーのコストが大幅に下がり、安価安定な主力電源となる。
- 4) 中国が民主化し、東アジアにおける地政学的な緊張が無くなる。

そんなバカなことが、と思われるかもしれないが、2050 年までということなら、様々な可能性がある。2050 年を待たずとも、上記の 1) から 4) のうちどれかが起きれば、そのときは、石炭火力の設備利用率を下げて CO2 を減らすことも選択肢になる。そして、そのどれも起きなければ、そのときは、石炭火力の設備利用率を維持し、利用を続ければよい。

実は設備利用率を大きく下げることには前例がある。日本は、1973 年当時は石油火力に電力量(KWh)の 73%を頼っていたが、これは震災前の 2010 年には 9%まで低下していた（図 3-6）。この間、設備容量はそれほど減っておらず、今でもじつは石油火力の方が石炭火力より多いほどだ（図 3-10）。石油火力による電力量が 9%まで低下した理由は、ピーク電力対応に回り、設備利用率が大幅に下がったためである。設備利用率が下がるといっても、決して無用になったということではない。ピーク電力への対応のみならず、不安定な再エネのバックアップや、非常時対応など、電力システムの安定のために重要な寄与をしている。石油火力があったから、東日本大震災後の電力供給不足も乗り切ることが出来た。石炭火力も、同様な役割を担うことが出来る。

アジア諸国では、当面は石炭火力が主力の国が多いが、これも 2050 年における大幅な排出削減と矛盾はしない。執筆時点で、アジア諸国では旺盛な電力需要に対応して、石炭火力も増えているが、それ以外の発電設備も増えている。将来の状況によっては、かつての日本の石油火力と同様に、アジア諸国も石炭火力の設備利用率を下げるのが選択肢になる。い

ま石炭火力が持続可能な開発のために必要なら、当面はそれをフル活用すれば良い。CO2削減は後からやろうと思えば出来る。電力系統と火力発電の組み合わせというのは柔軟なシステムなのだ。

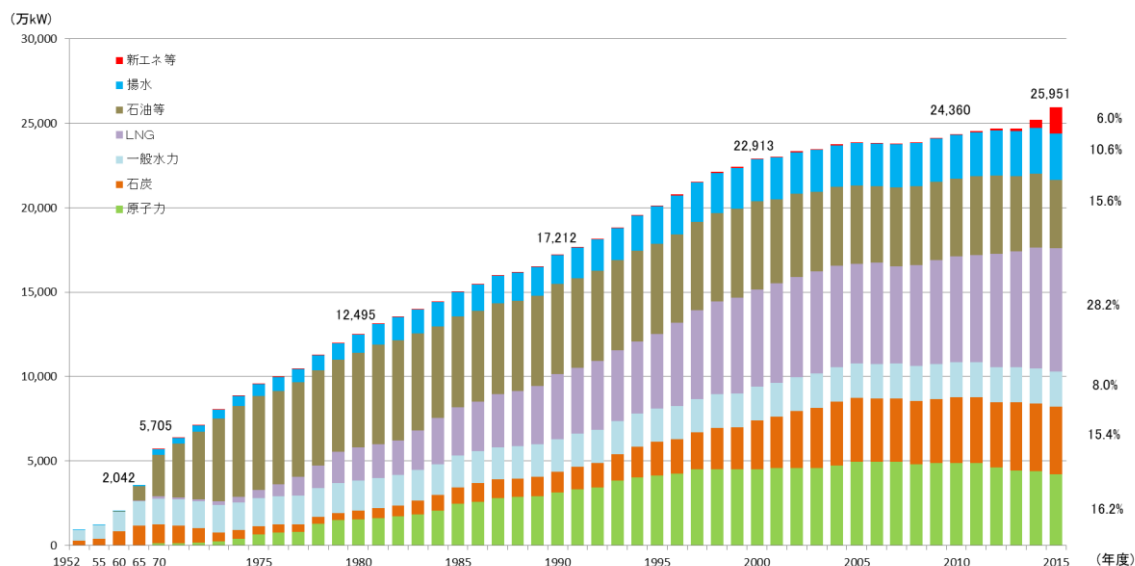


図 3-10 日本の発電設備容量の推移¹⁸⁰

CCS&バイオの技術開発のための石炭火力技術

日本は、高効率化・大気汚染対策等、石炭火力技術については世界有数の国である。

さて温暖化問題への対応としては、バイオエネルギーの活用や CO2 回収貯留技術 (CCS) に期待が寄せられているところ、筆者が強調したいのは、この何れも、石炭火力発電技術がベースとなって開発されるという事実である。

石炭火力発電では、世界各地で産出される様々な石炭の種類に対応し、ガス化技術、燃焼技術、排煙処理技術等が研究されてきた。バイオ燃料と一口にいてもこれも様々であるところ、一つ一つのガス化方法や燃焼方法を研究しなければ商業的な活用は覚束ない。このための燃焼試験設備、計測機器、シミュレーションのソフトウェア、そして研究チームや研究者などの人材は、火力技術の研究開発からの転用であることが多い。これは CCS 技術も同様であって、プラントの設計にあたっての設備や人材は火力発電とほぼ共通である。筆者は個人的にバイオ発電や CCS 発電の技術開発に当たっている研究者を知っているが、何れも出自は火力発電技術者である。

¹⁸⁰ <https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2017html/2-1-4.html>

以上のことが意味するのは、いま日本で石炭火力発電技術を失うと、それはバイオ火力や CCS といった温暖化問題への地球規模のソリューションを生み出す力をも失う虞がある、ということである。まだバイオ火力や CCS はそれ自体では技術者集団を維持できるほどの規模は無い。当面は石炭火力で技術者集団を維持することが基本となる。このためには内外に一定の市場が維持されることが望ましい。

CCU の戦略

「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略（2019年6月11日閣議決定）」でも言及され、「カーボンリサイクル技術戦略マップ（2019年6月7日）」¹⁸¹が策定された CCU（CO₂の回収利用）だが、これはどう進めれば良いか。

まずこれは、決して容易ではないことを理解する必要がある。

エネルギー利用の観点からみると、CO₂とは燃焼を終えて燃え尽きた状態であって、だからこそ利用することなく排出されてきたものである。炭素原子（C）ないし水素原子（H）を大気中の酸素分子（O₂）と共に燃焼させるときに莫大なエネルギーが生じるということこそが、化石燃料を魅力的にしてきたのであった。だから、CO₂からエネルギーを取り出すということは、原理的に出来ない。

他方で、他にエネルギー源があれば、CO₂を化学原料として活用することが出来る。植物の光合成というのはまさにこれをやっていて、太陽光のエネルギーを活用して、CO₂から糖分を作っている。バイオテクノロジーを活用して、これをさらに効率よく出来るだろう。あるいは、半導体材料等を用いて、人工光合成によって、有機物を作ることも出来るだろう。

以上は魅力的だけれども、まだ基礎研究の段階である。しかし、いまは基礎研究にこそ重きを置くべきである。計算機シミュレーション技術、微細加工技術や微細計測技術といった汎用目的技術は、いま目覚ましく発展している。これを活用して、材料の内部や表面での原子・電子の動きは、これまでブラックボックスに近かったところ、かなり詳しく理解されるようになってきた。更には、原子レベルで制御して材料の製造が出来るようになってきた。近年の燃料電池技術の飛躍的な進歩も汎用目的技術の進歩に支えられている。2050年頃までというのなら、今から基礎研究を始めて、ますます進歩する汎用目的技術を活用し、「ロードマップ」に列挙されているような本当のブレークスルーを目指すべきだし、そのいくつかは実現可能だと思う。

炭素原子（C）は重要な原子の一つである。例えばその物質表面の触媒上での振る舞いをよく研究することで、CO₂を原料の一部として、さまざまな化合物が、安価に製造できるようになるだろう。あるいは、CCSのための分離膜技術やCO₂吸収技術が、いまよりも大幅に

¹⁸¹ <https://www.meti.go.jp/press/2019/06/20190607002/20190607002-1.pdf>

コストダウンできるかもしれない。CCS の現在の最大の問題は、CO₂ を回収するためのコストが高いことである。しかしこれは、基礎研究を重ねることで、解決できると期待する。

基礎研究段階にある技術について大事なものは、コストダウンの見通しが立たない未成熟な段階で巨大な実証プラントを製造するといった、拙速なスケールアップは禁物だということだ。得てしてそれは、単なる無駄遣いに終わる。しかし他方で、政府には、短期間に目に見える成果が必要なようだ。そこでどうするかだが、筆者は以下の「2本柱戦略」を提案する。

第1の柱は、基礎研究でありながら、政府の看板にもなる大型のクロス Cutting な事業を作ることである。例えば、スーパーコンピューターを政府が購入し、「CCUS シミュレーター」と名付ける。これを低料金で民間事業や大学に提供する。利用対象となる技術には CCUS がもちろん含まれるが、あまり目的を狭く限定せず、炭素を初めとして、原子・電子が様々な材料の内部や表面でどのようにふるまうか、物性科学の知見の蓄積を図る。これにより、CCUS のみならず、さまざまな有用な材料技術が進歩する（ちなみに以前、日本政府は地球シミュレーターというものを地球温暖化研究のためとして導入した。したがってこのアイデアは二番煎じである。だが先例があるのは、やり易いことかもしれない。）

第2は、すぐに目に見える成果の出る事業である。とはいっても、「実用化段階にあって、経済的便益があって、CO₂ が活用できる」という技術は、そう多くはない。

その中において最も有望なのは、CO₂ を利用した作物の栽培である。これは既存の、実用化されている技術である。トマトの温室では、CO₂ 濃度を外気(=400ppm)の3倍から5倍(=2000ppm)にまで高めることで、生育を早めている。¹⁸²

しかし、このようなCO₂ 利用は、日本で広く行きわたっていないのが現状である。あらゆる温室でCO₂ を活用することは、経済的なメリットも大きいだろう。

更には、どの程度のCO₂ 濃度が作物の生育にとって最適であるかといった研究や、高いCO₂ 濃度に適応した品種の改良の研究も考えられる。何れも土地面積あたりの農業の生産性を高め、肥料・農薬・水の投入などの環境への負荷を低減し、農業起源の温室効果ガス排出を削減する効果がある¹⁸³。

提言

最後に、4点に絞って提言をまとめておこう。

1) CO₂ は、エネルギー問題における唯一の課題ではない。日本は安全保障上の理由で、電力の安定供給を確保するために石炭火力発電が当面は一定量必要と判断している訳だから、これはきちんと対外的にも説明すればよい。 エネルギーをアキレス腱とする日本が、エネルギー

¹⁸² <http://ieei.or.jp/2018/04/sugiyama180413/>

¹⁸³ https://www.canon-igs.org/event/report/20200204_6222.html

ギー政策の舵取りを間違えて脆弱な国になり、自由・民主・平和といった普遍的価値の東アジアに於ける砦で無くなる事態は、欧米も望まないだろう。

2) 個々の民間事業者は、石炭火力への逆風に屈しやすい。それでも石炭火力を続けるためには、日本政府の方針がぶれないことが重要である。日本は、内外の石炭火力発電を、エネルギー安全保障ないし国家安全保障といった国益の観点から維持する必要があるのだから、国は政策・制度環境を整え、民間が安心して事業に取り組めるようにせねばならない。

3) その一環として、国は、石炭火力が持続可能な開発に資すると考える途上国に働きかけ、その旨を明確に制度化してもらうことが望ましい。

4) 日本は石炭火力をどう位置付け、どう活用するのか、エネルギー安全保障・国家安全保障・CO2削減を包含した国レベルでの戦略の策定が必要だ。

第4章 なぜまともな科学的論争が出来ないのか？

この最終章では、なぜ第1章、第2章のような地球温暖化問題に関する科学的な論争が、日本の学界、論壇、大手メディアでまともに行われぬのか、オムニバスの考察する。なお、問題点ははっきり指摘するけれども、残念ながら、あまり良い解決策は思いついていない。

日本の抱える宿痾を一口に言えば、政治（＝利益の調整）が科学（＝客観的事実の探究）に優越してしまっており、政治的利益や経済的利益を生み出す「温暖化物語」に大多数の科学者、識者、大手メディアが従属して、「政治的に正しい」ことしか言わなくなっている、という構造がある。これを正すためには政治に逆らう勇氣ある科学者の役割が欠かせない。

米国では、多数の有力な科学者が、温暖化脅威論を真っ向から否定している。その意見は共和党の政治的サポートも得ている。メディアでの取り扱いも、温暖化脅威論と、それほどでもないという懐疑論が拮抗しており、世論は二分されている。

日本において、科学が政治に従属してしまっている理由はいくつもあるだろう。その原因の1つは、大学制度を含めた、現在の科学研究制度の問題である。いくつか改善のための提案をする。

1 「温暖化物語」は何故存在するか。何故修正されないか。¹⁸⁴

地球温暖化問題というと、日本では、以下の「物語」が共有されている。「地球温暖化が起きている。このままだと、地球の生態系は破壊され、災害が増大して人間生活は大きな悪影響を受ける。温暖化の原因となっているのは、化石燃料を燃やすことで発生するCO2であ

¹⁸⁴ 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/2019/07/sugiyama190701/>

り、これを大幅に削減することが必要だ。パリ協定では2℃以下に温度上昇を抑えることが国際合意され、日本政府はこれに向けて2050年までにCO2排出量を80%削減する。温暖化対策は待ったなしの状態である」。

この「物語」に沿って、政府は予算を獲得する。温暖化対策を名目とした予算は、あらゆる省庁や自治体に存在する。どの計画を見ても、枕詞は同じで、冒頭の「物語」がまず書き込まれ、その後で、必要な政策や予算措置が列挙される。

研究者も、この「物語」に沿って予算を獲得する。どの研究提案書を見ても、冒頭の「物語」がまずあって、その後で、実験計画や人員、必要な予算措置が書いてある。

このような政府と研究者の利権構造が出来上がると、「物語」は繰り返し反復されて、強化されてゆく。人はその性として、頻々と同じ物語に接すると、それが本当だと信じるようになる。もしくは、本当は信じていなくても、信じているふりをしている方が、生きていくのが容易になる。

温暖化問題を専門とする研究者は、この社会学的構造からは滅多に抜け出せない。それで「物語」をせっせと再生産するようになる。ところが、それを書いている研究者は、その「物語」を自力で検証したわけではない。温暖化問題は、自然科学、工学、経済学等、広範な領域にわたる。のみならず、それぞれの領域も細分化されていて、自分の専門領域以外のことは、相当に頑張っただけ勉強しないと分からず、殆どの研究者は何も知らない。そこで、他の研究領域については「物語」を使って説明し、自分はその文脈で研究をします、という言い方をする。

だがこうすることで、2つの罪を犯している。第1は、その物語を反復したことで、その物語の科学的真偽を問うことなく、その物語を強化する罪である。第2は、その物語に合うようなバイアスを受けた研究報告を書き、メディア発表をすることである。いずれも、科学のモラルに反するものであり、科学の進歩という観点からは有罪だ。もしも、どの分野にも、適切なガバナンスが働いていて、バイアスを受けた研究報告が排除されるならばよい。しかし現実にはそうになっていない。現実はこちらだ：「物語」に合う研究は政府プログラムで採択されやすく、論文も主要論文誌に乗りやすい。「物語」に反するならば、その逆であり、研究者は己のキャリアを苦難の道に曝すことになる。

勿論、「物語」が真実ならば問題はない。しかし実際には、この「物語」には誤りが多い。そもそも、この「物語」が繰り返し語られ始めたのは、1990年のIPCC報告書が出たころである。それ以来、ほとんどこの物語の主な内容は変わらない：「①温暖化は起きていて、②危険で、③人間のCO2によるものであり、④待ったなしの大幅排出削減が必要だ」、ということだ。しかし、考えてみてほしい。1990年以来、もう30年も経つ。その間、地球科学、生態系等に関する科学的知見は随分と深まった。その一方で、過去の温暖化に対して人間は何の問題もなく（というより、気づくこともなく）適応してきた。それなのに、「物語」だけは全く変わらないのはなぜか？

「物語」が共有されるメカニズムは、前述の利権構造だけではない。人間は「物語」を共有することで、団結を強める傾向がある。石器時代の人間は、150人ほどの血族集団を作って暮らしていた。そこでは、実に長い時間と労力をかけて、物語の共有が行われてきた。先祖代々の名前や、闘いの歴史など、歌や踊りと一緒に、毎日何時間もかけて物語が共有された。これには莫大な時間が投じられるが、そのことは、それが如何に進化論的に見て引き合うものだったかを示している。物語による団結の強化という伝統は、一神教にも引き継がれ、聖書等でも先祖代々の物語などが語られ、共有された。

地球温暖化の物語は、メディアや会議で、繰り返し共有される。同じ物語を語る仲間内で団結は高まり、それに反することを言えば、団結を乱すものとされる。1990年以来の展開を翻ってみると、そこで起きてきたことは、繰り返し語られ制度化されることによる物語の強化という社会学的なプロセスであった。実際には、温暖化に関する自然科学の知見は蓄積され、よく検討するならば、あらゆる側面において「物語」には疑義が生じてきたのに、修正されずに今日に至っている。

では温暖化の科学的知見はいま、どうなっているのか。本書で述べてきたことを、概略まとめよう。まず、

① 温暖化はゆっくりとしか起きていない。

温暖化の進行は、1990年当時に予言されていた速さ(100年あたりで 3°C 、誤差幅は $2\sim 5^{\circ}\text{C}$)に比べると、ゆっくりとしている。温度上昇のペースは、高めに見てもせいぜい100年で 1.5°C 程度の速さであった。とくに、2000年以降2013年迄はハイエイタス(停滞)と呼ばれ、温度は上昇しなかった。その後エルニーニョ現象で温度はいったん上がったが、2017年、2018年にはまた下がった。

② 温暖化は危険ではない

いま起きている程度の速さの温暖化は、過去に自然変動で起きてきたものと大差ない。それに、過去100年に起きた温暖化では、何の被害もなく、人類は空前の繁栄を享受した。1990年ごろには、大西洋の海流大循環が激変するといった可能性も示唆されたが、これは起きそうにないことがその後の研究で解っている。あれこれの仮説が出されて心配されたけれども、よく検証すると、さほど温暖化は危険でないのだ。

③ 温暖化は人為的CO₂にもよるが、それ以外の要因も大きく、よく分かっていない。化石燃料燃焼によるCO₂などの温室効果ガス排出が温暖化の要因の一部であることは確かである。しかし、IPCCによる気候のシミュレーション(巨大な天気予報のようなもの)は、自身が認めているように科学的不確実性はとても大きい。人為的CO₂による温暖化が起きたとされるのは1950年以降だが、それ以前にも地球は結構な速さで温暖化していた。欧州では小氷期といって氷河が発達した時期があり、それが20世紀以前から後退し続けて現在に至っている¹⁸⁵。地球が温暖化しているにしても、海洋の内部変動や、太陽磁場の変動の気候への影響が大きな因子かもしれない。いずれにせよ気候モデルのシミュレーションは、一

¹⁸⁵ 小氷期の欧州における猛烈な寒さについては(ヴォルフガング ベーリンガー, 2014)

連の過去の変化を再現できておらず、地球の気候の複雑さを表現できていない。したがって将来の予言も不確かである。

④ 大幅排出削減は待ったなしではない。

一連の物語は、結局はこの「待ったなし」を言うことが眼目である。そうしないと政府予算も研究予算もなかなか付かないからだ。しかし、科学的知見は分からないことだけであるのに対して、じつは温暖化ではたいした被害は起きなかつたし、今後についてもさしたる危険は迫っていないことも分かってきた。その一方で、大規模な排出削減というのは、大変な費用を伴うことははっきりしている。いまの日本は再生可能エネルギー導入の賦課金だけで年間2兆円を超え、これは電気料金に乗せて国民から徴収されている。

もちろん、科学的知見に分からないことが多い以上、ある程度用心深くなることは良い。安価な範囲で排出削減を進め、また、将来には大規模かつ安価に削減できるように技術開発をしておくが良い。しかし、経済停滞が長く続いてきた日本で、中国の台頭に抗して自由と平和を守るために一層の国力が必要とされている今のタイミングにおいて、経済的損失を顧みることなく大規模な排出削減をするというのであれば、それは間違いだ。

いま必要なことは、「物語」を、過去30年の知見の蓄積を科学的に（政治的にではなく）踏まえて、修正する試みである。そうすると、新しい「物語」はこうなるだろう：「温暖化はゆっくりとしか起きていない。温暖化の理由の一部はCO₂だが、その程度も温暖化の本当の理由も分かっていない。過去、温暖化による被害は殆ど生じなかつた。今後についても、さしたる危険は迫っていない。——温暖化対策としては、技術開発を軸として、排出削減は安価な範囲に留めることが適切だ」。¹⁸⁶

科学者は科学を貫いて、時には一身を賭して権威・権力と対決しなければならないことがある。それが長い目で見て人類の繁栄をもたらした。ガリレオもダーウィンも然り。既存の「物語」を疑わずにぶら下がり、安逸をむさぼるのは科学に対する犯罪である。

2 米国の半分は地球温暖化を信じていない¹⁸⁷

米国では、日本や欧州とは全く異なり、世論を二分する論争が起きている。

地球温暖化の「脅威論」と「懐疑論」の分かれ目がどこかは任意だが、以下では、「2050年までにゼロエミッションにしなければならない」といった極端な温暖化対策が必要と言う意見を温暖化「脅威論」、地球温暖化自体は否定しないが、そこまで極端な対策は必要無い、という意見を「懐疑論」と名付けて紹介しよう。この分類だと筆者が本稿で展開してきたこれまでの議論は「懐疑論」の範疇に入る。

¹⁸⁶ いま人口に膾炙している「温暖化物語」が、温暖化の予測から、環境影響予測まで、殆ど全て誤りないし根拠が無いと論じるものとして、(Lindzen, 2016)(Lindzen, 2017)。著者のMIT Lindzen教授は気候科学研究の権威。

¹⁸⁷ 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/2019/10/sugiyama191007/>

米国では温暖化は党派問題

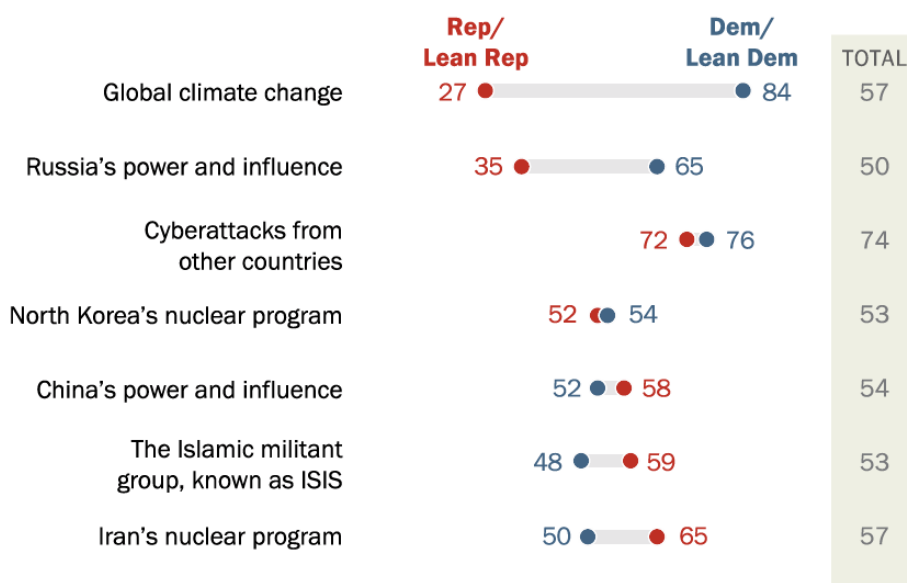
「脅威論」は、日本の世論では支配的だ。しかし米国は全く異なり、脅威論と懐疑論のバランスが拮抗している。この理由は、(1) 温暖化が党派的な問題であり、共和党支持者は温暖化懐疑論であること、(2) 米国では既存の権威や学説に挑戦する科学的態度が尊重されること、(3) メディアが(1)(2)を反映してバランスが拮抗した報道をしていること、の3つによる。以下、順に説明しよう。

図 4-1 は米国の著名な調査機関ピューリサーチセンターによるアンケート結果で、各項目が米国の福祉にとって重要な脅威であるかどうかを聞いている。

注目されるのは、気候変動(global climate change)については、民主党支持者の84%が重要な脅威と答えている一方で、共和党では僅か27%に留まることである。米国政治は党派で大きく分かれていることはよく知られているが、それでも、他の項目ではここまで開きが無い。気候変動こそが、もっとも党派間で意見が対立する問題となっている。

Wide partisan gaps on threat from climate change, Russia; smaller differences on Iran, North Korea

% who say each is a major threat to the well-being of the United States



Source: Survey of U.S. adults conducted July 10-15, 2019.

PEW RESEARCH CENTER

図 4-1 ピューリサーチセンターによるアンケート結果¹⁸⁸

¹⁸⁸ <https://www.people-press.org/2019/07/30/climate-change-and-russia-are-partisan-flashpoints-in-public-views-of-global-threats/>

米国の科学者

日本では脅威論が公式の場では支配的であり、これを否定すると異端扱いされる傾向がある。しかし米国ではそうではない。共和党支持者がここまで脅威論を否定しているのは、決して科学に無知だからではなく、十分に知識を持った上で否定していると見るほうが妥当であろう。この違いは何によるか。

第2章で紹介したように、米国では、脅威論を真っ向から否定し、議会で毎年証言をする科学者が多くいる。特に有名なのは、アラバマ大学ハンツビル校のジョン・クリスティである。彼はリモートセンシング等による地球規模の気温測定の第一人者であり、校名を冠した「UAH」の略号で知られる重要な気温データセットを40年に亘り構築し発表し続けてきた。

そのデータセットを用いて、彼は気候モデルの妥当性を批判的に検証し、モデルでは熱帯の空が熱くなりすぎることを示して、「気候モデルを反証した」、という内容の議会証言を行った。

さて日本の議会・政府・大手メディアでは、このような意見をきちんと知っているだろうか？ 残念ながら、行政官も政治家も国民も、このような筋金入りの研究者が正面切って論じている、脅威論への強力な反対意見を殆ど知らないのではなかろうか。

米国のメディア

米国はメディアも日本と異なる。科学雑誌のネイチャーに最近載った論文で、脅威論と懐疑論で報道件数を比較したものがあつた¹⁸⁹。結果は以下の通り：

- (1) 科学論文の件数は「脅威論」が圧倒的に多数
- (2) しかしながら、メディア報道の件数は拮抗しており、むしろ「懐疑論」の方がやや多い

この結果を受けて、この論文の著者は「脅威論が負けているのは危険な状況だから、脅威論者はメディアにもっと出る努力をすべし」と結論している。

しかし筆者は、むしろ別のことを読み取った。科学論文については、「脅威論」には各国の行政機関や国際機関がスポンサーとなって沢山お金を出しているから、件数も多くなる。この状況にも拘わらず、メディアにおいては両者が拮抗しているというのは、驚きである。

¹⁸⁹ Petersen, A. M., Vincent, E. M., & Westerling, A. L. (2019). Discrepancy in scientific authority and media visibility of climate change scientists and contrarians. *Nature Communications*, 10(1), 3502. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09959-4>

メディアも米国では民主党系と共和党系に分かれており、共和党系の大手メディアが受け皿となって、懐疑論を報じている。たとえば、Wall Street Journal で「極端な脅威論は誤りであり、冷静な技術開発が重要」¹⁹⁰といった記事が、あるいは FORBES で「山火事は温暖化のせいではない」といった記事が掲載される¹⁹¹。テレビでは、FOX news がそのような報道をする。このため世論には全体としてバランス感覚があり、脅威論だけではなく、懐疑論にも耳を傾けている。

3 「政治的に正しい」温暖化研究への懸念

192

要約

日本では、米国のような世論を二分する論争は起きておらず、「温暖化物語」が絶えず反復・強化されている。この背景には、今日の日本の科学研究推進の体制が抱える問題がある。

近年の傾向として、国による研究開発予算には3年や5年といった「短期的に」答えが出る、かつ「役に立つ」成果が求められるようになったが、基礎研究はおろそかにされた。結果として、日本の科学研究力が低下したと懸念する意見が多い。

これに加えて、筆者が懸念するのは、「短期的に、役に立つ」成果を国が求めた結果、「政治的に正しい」方向に研究計画・結論・メディア発表が誘導される傾向が無いか、ということだ。これは地球温暖化問題において、徒らに環境影響の脅威を煽ったり、極端な排出削減対策を正当化するようなプレッシャーになっていないか。

「短期間で」「役に立つ」研究を求めるプレッシャー

日本の国立大学改革においては、基盤的な資金を分配する運営費交付金は年率1%で削減される一方、競争的資金が増加された（図4-2）。

¹⁹⁰ https://www.wsj.com/articles/ignore-the-fake-climate-debate-11579795816?utm_source=Breakthrough+Newsletter&utm_campaign=9805bba932-EMAIL_CAMPAIGN_2018_04_02_COPY_01&utm_medium=email&utm_term=0_49b872540e-9805bba932-244547953

¹⁹¹ <https://www.forbes.com/sites/michaelshellenberger/2019/08/30/forget-the-hype-forest-fires-have-declined-25-since-2003-thanks-to-economic-growth/#29c14f93163d>

¹⁹² 初出 拙稿 <http://ieei.or.jp/2020/04/sugiyama200416/>

運営費交付金等の削減・予算配分バランスの変化 基盤的経費 1

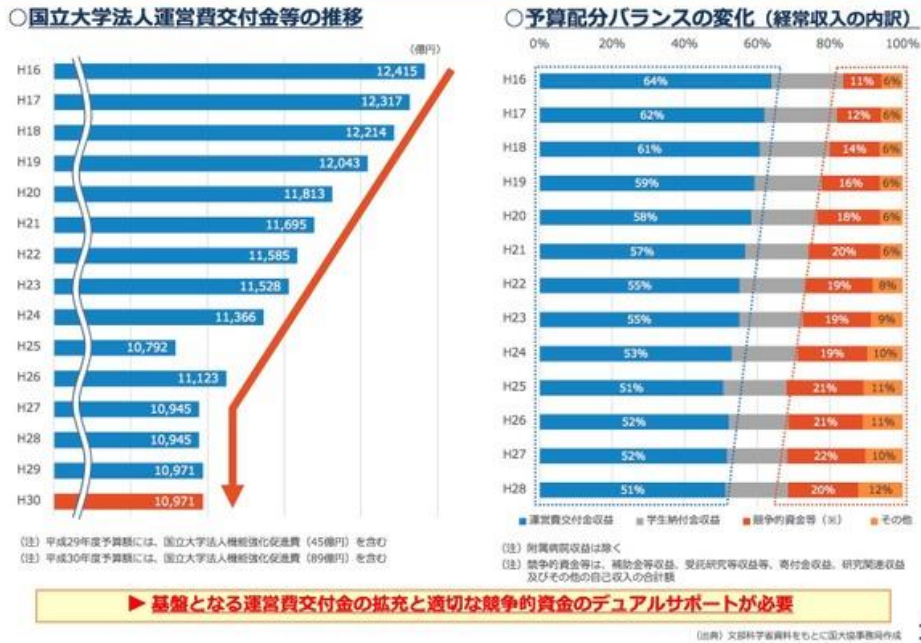


図 4-2 運営費交付金等の削減・予算配分バランスの変化 (政府資料)

運営費交付金が恒常的に減少した結果、多くの大学は財政難に陥り、設備の維持更新もままならなくなった。これが一因となって、日本の研究力が低下したとされる¹⁹³。代わりに競争的資金は増えたが、そこでは3年や5年といった「短期的に」、しかも社会的課題の「役に立つ」ことが要求されるようになった(毎日新聞「幻の科学技術立国」取材班, 2019)。

安定した財源を欠くために大学の終身雇用職の採用は減ったが、その一方で大学院の定員は増員されたため、博士号を取得しても多くの研究者は半永久的に任期付雇用にしかなることができなくなった(豊田 長康, 2019)。

競争的資金の一環として、国が主導する出口志向の大型研究開発プロジェクトが増えた。しかし、内閣府の大型研究開発プロジェクトにはいくつか問題が起きた。研究の公募がやらせであり、事前に内容や担当者まで全て決まっていたことがスクープされた(図 4-3)。また成果についても「量子コンピューターの開発に成功した」等、実際以上に誇大に発表されるということが起きた(毎日新聞「幻の科学技術立国」取材班, 2019)。

あらかじめ期間や予算が決まったプロジェクトでは、研究者は必ず実現しそうなものしか提案しにくいので、真のイノベーションは起きにくくなると村山斉は指摘する(毎日新聞

¹⁹³ (豊田 長康, 2019)(岩本 宣明, 2019)

「幻の科学技術立国」取材班，2019)。それにも拘わらず、強引に基礎研究から社会実装までを短期的に求めた結果として、このようなやらせや誇大宣伝が起きてしまったようだ。

内閣府の大型研究開発プロジェクト



第2期SIP

課題	選定されたプログラムディレクター(PD)	応募数	内閣府選定のPD候補を選定
サイバー空間基盤技術	安西 祐一郎 慶応義塾学事顧問	1	○
フィジカル空間基盤技術	佐相 秀幸 富士通研究所顧問	1	○
セキュリティ	後藤 厚宏 情報セキュリティ大学院大学長	1	○
自動走行	葛巻 清吾 トヨタ常務理事	2	○
材料開発基盤	岸 輝雄 新構造材料技術研究組合理事長	1	○
光・量子技術基盤	—	2	×(清空)
バイオ・農業	小林 恵明 キリン常務執行役員	1	○
エネルギー・環境	柏木 孝夫 東京工業大特命教授	1	○
防災・減災	堀 宗朗 東京大防災津波災害予測研究センター長	1	○
健康・医療	中村 祐輔 米シカゴ大教授	2	×
物流	田中 俊輝 ヤマトホールディングス執行役員	1	○
海洋	石井 正一 石川県立海洋開発社社長	1	○

図 4-3 内閣府の第2期SIPで内閣府想定のパブリックディレクター候補を選定するというやらせがあったとしたスクープ記事¹⁹⁴。

¹⁹⁴(毎日新聞「幻の科学技術立国」取材班，2019)

<https://mainichi.jp/articles/20180510/ddm/016/040/039000c>

一般的に言って、「短期的に」「役に立つ」研究が競争的資金の下で実施されると、時間がかかる研究、革新的だが失敗のリスクの大きい研究は敬遠され、短期間で確実に成果が出る小粒の研究ばかりが行われるようになり、また、研究不正も増える(山口 裕之, 2017)。

生命科学分野においては、査読付き論文になっている成果であっても、追試の実験を行うと、その多くに再現性がないとして、世界的な問題になっている。STAP 細胞事件のようにあからさまな不正だけではない。故意の不正なのかあるいは過失なのか、多くはグレーゾーンにある。研究者も人間なので、実験手法や統計処理に不備があるときに、自らに対して甘くなることがある。あるいは、ノイズの中にシグナルを見出したいくなったり、チャンピオンデータを取り出したくなったりする。この他にも、落とし穴は数多い。査読システムは、このような問題点を解決できていない¹⁹⁵。

現在の科学業界では、発表件数を増やすというプレッシャーの下で、論文が粗製乱造される。そこでは先行研究を引用しなければならない決まりになっていることから、質の低い先行研究でも引用されて、その被引用回数が増えて、それが成果評価になる、といった「破壊的なフィードバック」が働いている。これが最も問題視されているのは生命科学だが、実際は政策研究の方がより深刻だ。この分野では、実験で追試をすることもできず、はっきりした結論は滅多に出ない。そこで、どのような立場・主張であれ、それを支持するような、都合の良い査読論文をウェブで探し出して、先行研究と位置づけることが出来る(Sarewitz, 2016)。

地球温暖化研究へのプレッシャー

それでは、地球温暖化問題研究には、「短期的に」「役に立つ」研究が求められる結果として、どのようなプレッシャーがかかっているか。

まず第1に、実験や観測よりも、計算機によるシミュレーション研究が志向されるようになる。現実世界を相手にする実験や観測は予算も手間暇もかかり、また不測の事態がつきもので、時間内に結果が出るかどうか、不安がつきまとう。短い期間内に何等かの成果を確実に出すためには、シミュレーションの方が手っ取り早い。

第2に、シミュレーションの質が落ちる。本当は、シミュレーションはその入力データがどのようにして測定されたかをよく知らないといけないはずだが、このデータの吟味がおろそかになる。また、将来を予言するにあたっては、それに先立ち、過去を十分に再現できているかなど、そのモデルの妥当性を厳しく検証すべきだが、これもおろそかになる。

第3に、「役に立つ」ことが強調されるため、国際共同研究であること、基礎研究から社会実装まで全てを期間内に終えること、ステークホルダーと対話すること、メディアに発表すること、中間評価を受けることなど、あれもこれもと形式的な要件が増える。たった3年か5年で全てを満たすことは常識的に考えれば不可能であろう。にもかかわらず、国主導で

¹⁹⁵ (リチャード・ハリス, 2019) (ドナ・ラフラムボワーズ, 2016)

プログラムを細かく審査・管理すると、このような要件が増える傾向にある。結果として、既存の要素技術の寄せ集めに過ぎず実は新規性のないシステム実証といった研究の小粒化や、妥当性評価の甘いシミュレーションへの過度の依存などの研究の粗雑化が進む。それでも、研究代表者は、多くの要件を満たすために飛び回り、極めて多忙になる。

そして、第4に、「政治的に正しい」研究が増えているのではないか。

現在、地球温暖化問題については、「それが脅威であり、例えば“2050年にゼロミッション”といった、極端な温暖化対策が必要だ」といった「温暖化脅威論」が「政治的に正しい」状態にある。だが、このような極端な温暖化対策が、経済的・技術的に実施可能かどうか、あるいは科学的知見はそこまではっきりしているか、といった点は、なお大いに議論の余地がある。しかし、近年では、「議論の余地がある」というだけでも、「政治的に正しく」はない状況にあり、脅威論に対して少しでも疑問を呈すると、「懐疑論者」「否定論者」とレッテルを貼られ、不利益を被ることを覚悟しなければならない。

この状況において競争的資金を獲得したければ、計画書には政治的に正しくないことを書くのは得策ではない。つまり、「地球温暖化は深刻な脅威であり喫緊の対策が必要である」と書かねばならない。もしも「地球温暖化の環境影響には大きな不確実性がある」とか「2050年にゼロ排出など不可能に近い」などと書こうものなら、それだけで審査が不利になることを覚悟しなければならないのではないか。

また「役に立つ」研究であるためには、メディアへのアウトリーチも要請される。この際は、地球温暖化の脅威を徒らに煽るような発表になりがちだ。シミュレーションは前提条件を変えればかなり極端な結果も出てくるので、この目的にはうってつけである。未来を予言する能力を欠いた、妥当性の評価が済んでいないモデルを、実現可能性の低い極端な前提条件の下で走らせて得られたシミュレーションであっても、メディアで大きく取り上げられ、「地球温暖化の脅威」が煽られることがある。もともとの論文を見れば、大抵の場合、そのような結果は、数ある試算の1つに過ぎず、「さほど信頼性が高い試算ではない」と著者は科学論文らしい抑制を効かせて書いている。だがいざメディアで発表となると、煽情的に目立つ記事となるように誘導される。そして、そのような歪んだ形であってもメディアで紹介されることが「役に立つ」として評価されてはいまいか。

更に、「役に立つ」研究であろうとするために、都度、政策目標に寄り添う傾向が生まれる。パリ協定では2°Cや1.5°Cという地球温暖化の抑制の目標が言及された。これを受けて、2°Cや1.5°Cを実現すると称する温暖化対策シナリオが世界中で量産された。その中身を見ると、2030年や2050年にゼロ排出になるといったシナリオになっており、現実的に吟味するならば、ほぼ実現不可能なものばかりである。だがとりあえずシミュレーションは出来るので、ひたすら論文の件数が増えた。またそれに呼応して、2°Cや1.5°Cの環境影響評価のシミュレーションも増えたが、これもモデルの妥当性の検証に疑問があるものが多い。そして論文の件数が増えたこと（知見が深まったことではない）を以て、諸国の政府は「温暖化

問題に喫緊に対策すべきエビデンスが増えた」と宣言し予算をつける。見ようによっては、これは壮大なやらせであり、政府とシミュレーション研究者が社会を欺いているとすら言えるかもしれない。

一般的に言って、国がスポンサーとなって「役に立つ」研究が推進されることは、「政治的に正しい」研究が横行する危険をはらむ。地球温暖化以外の例をいくつか挙げてみよう。

考古学分野では、旧石器時代の石器や遺跡が捏造され、それが暴かれた「ゴッドハンド事件」があった。ゴッドハンド事件では、文部科学省、考古学者、それに遺跡ブームに乗って地域振興を図りたいという地方自治体の思惑が絡んで、似非科学研究であったにも拘わらず、大規模に国費が投じられた。結局、その捏造があまりにも杜撰であったので、毎日新聞のスクープで全てが破滅した。しかしそのスクープの直前まで長きにわたって、捏造された石器や遺跡は、メディアや行政にもはやされ、教科書にまで掲載されていた(奥野 正男, 2004)。

地震予測・予知研究は、科学的根拠が無かったにもかかわらず、国費を投入して長い間続けられた。だが確率予報の形で発表されたハザード・マップは全く当たっておらず、東日本大震災を初め、深刻な被害をもたらした大地震を全く予測できなかった。また前兆を捉えて大地震の警報を出すという地震予知研究も、いまだ予知を出来る見込みはない。地震が予測・予知できるものだと思いきや、東日本大震災などの地震の被害を大きくした可能性すらあり、罪は重い¹⁹⁶。

時代を遡ると、1870年代のアメリカでは、進化論を唱えた学者が迫害された。多数の国民が進化論を信じず、むしろ宗教上の異端だと考えるからといって、大学は進化論を研究してはならないという考えは、現代の日本人の目から見れば、明らかに誤りであろう(山口 裕之, 2017)。

地球温暖化問題について、ここで挙げた例ほど酷いことが起きているというつもりはない。しかし、地球温暖化問題に関しても「政治的に正しい」研究計画・結論・メディア発表へと導くプレッシャーが存在し、そのプレッシャーに影響を受けた研究活動が多く存在し、それが政策決定に大きく影響を与えていることは確かであろう。

改善に向けた提案

「政治的に正しい」方向へと研究活動がプレッシャーを受けることは、研究活動の本来の役割に照らして望ましくない。例え「政治的に正しくない」結論になろうとも、研究活動は多様性を確保し、幅広く実施しておくことが、社会としての意思決定をより適切なものにする。では、どのような改善が可能か。全てを一気に解決する方法は思いつかないが、幾つかの提案をしたい。

¹⁹⁶ (ロバート・ゲラー, 2018) (ロバート・ゲラー, 2011)

いまの日本の大学では、博士課程から 30 代、40 代にかけての最もイノベーティブで働き盛りの年齢層の研究者が、定職を得てじっくり独立した研究をできる状態になっていない。国のプロジェクト研究を 3 年ごとに渡り歩き、都度成果を求められ、次の職を探し続けねばならない。これでは、野心的な研究もできないし、「政治的に正しくない」ことを言うことは困難を窮める。なぜなら、予算獲得に失敗すれば、研究者としての人生が終わり、生活も崩壊してしまうのだ。このような状況において「政治的正しさにおもねることなく、科学精神を貫け」などと研究者個人に心構えを説いたところで、空疎に響くだろう。

現状を改善するためには、制度を変えねばならない。特に重要なのは、科学研究の中身に国が直接に口を出すのを控えるようにすることであろう。これにはいくつかアイデアがある。

1. 運営費交付金の漸減を止め、給付を増やし、働き盛りの研究者が安定した職について、国とは独立にじっくりと研究を進めることができるようにする。

国は運営費交付金の削減によって、それへの対処として、大学が自らを改革することを期待していた。しかし、実際には、大学を財政難に陥れた結果として起きたことは、若手の就職難の悪化であった。大学を改革するためには高齢で成果の乏しい教員は削減したほうがよいが、そのような目的を達成したいならば、例えば早期退職制度など、別の手段が必要だ。

2. 大学改革の名のもとに細かく政府が大学に行政指導をすることを止める。

大学間の競争は、政府が基準を決めて審査するという計画経済的な疑似競争ではなく、学生の獲得・教育や産学連携の推進など本来の大学の實力での競争に委ねるべきである(山口裕之, 2017)。

3. 国の影響力を弱めるために、企業や個人からの大学への寄付を、税控除の拡大などによって促進する(上山隆広氏の提案)(毎日新聞「幻の科学技術立国」取材班, 2019)。
4. 米国の国防高等研究計画局(DARPA)のように、少数の人間の裁量に大きな予算と大幅な裁量を付与する研究支援機関を別個に作る。

DARPA は、数々の画期的イノベーションを実現した(アニー・ジェイコブセン, 2017)。科研費のような審査システムや学術論文の査読システムとは無縁の、少数の人間の裁量に委ねる方法で予算を大胆に運用することで、米国の研究活動に革新性と多様性をもたらした(シャロン・ワインバーガー, 2018)。これには暴走や失敗も付随したけれども、得られた成果は目覚ましかった。日本も同様な形で研究予算の配分において、全く異なるチャンネルを

作ってはどうか (なお前述の日本の内閣府の大型研究開発プログラムは、運営に行政が深く関与しており、この点において DARPA とは全く異なるものになっている)。

最後に、そもそも終身在職権 (テニユア) 制度が何のために出来たか、という逸話に触れよう。米国では、私立大学が歴史的に主力であったところ、スポンサーの意向によって教授が解職されるということがしばしば起きた。これが自由な思想を妨げるものとして問題視された。結果として、スポンサーの意に沿わないことを言っても構わないように、テニユア制度で教授の身分が保証されるようになった(山口 裕之, 2017)。

国が「短期的な」「役に立つ」研究を求め、大学運営や研究開発予算配分に影響力を行使することは、「政治的に正しい」研究活動を助長するプレッシャーとなりかねない。地球温暖化問題でこれが起きる懸念があり、注意が必要である。

第5章 結論

地球温暖化問題に関する観測データは以下の通りだ。

- ① 台風は強くなっていない。
- ② 豪雨は過去の自然変動範囲よりも強くなっているとは言えない上に、地球温暖化の影響ははっきりしない。
- ③ 猛暑への地球温暖化への寄与はごく僅かであった。

地球温暖化による悪影響の予測は 3 段階のシミュレーションの繋ぎ合わせに依存しているが、全ての段階に問題がある。

- ① 「温暖化対策なかりせば」の場合の排出量が非現実的な迄に多すぎる。
- ② 気候モデルは現状の再現すら十分できていない。温度上昇予測は結果を見ながらチューニングされており、かつ不確かである。豪雨や台風の予測は更に不確かである。
- ③ 地球温暖化の環境影響評価は不確かな上に、殊更に悪影響を誇張する傾向にある。

「気候危機」とは、非現実的に高い排出シナリオのもとで、過去の再現すら満足に出来ず、不確かなモデルの予測に基づいて環境影響評価を行い、その結果として得られる幅広い試算結果の分布の、最悪の場合を取り出してメディアが報じることで演出されたものだ。

本書で、観測データを確認し、シミュレーションの妥当性を検分すると、「気候危機」なるものは存在しないことが分かった。

「気候非常事態宣言」が発せられて「2050 年ゼロエミッション」といった極端な目標が設定されるとなると、それはコロナ非常事態宣言を上回る莫大な経済的負担を意味することになる。かかる温暖化対策は、現在の科学的知見では正当化できない。不確かなモデルの予測に基づいて、甚大な経済的影響をもたらす政策決定をすべきではない。

それに代えて、実施すべきことは 2 つある。第 1 は、観測を充実させて、データを継続的にモニタリングすることである。今のところ、地球の気候に破局的な悪影響が生じる兆候は全くないが、重大な異変が生じないか継続的に観測する必要がある。また、観測の充実によって、まだよく分かっていないことの多い気候システム（大気、海洋、植生、土壌、氷床、氷河等）や、生態系に関する科学的知見が深まることになる。

第 2 に、温暖化対策については、経済成長や安全保障等の他の政策課題を妨げない様、コストが低い範囲で CO2 削減策を実施すること、そして、それを可能にしてゆくイノベーションを促進することである。コロナ禍からの経済回復に引き続き、経済成長と温暖化対策を両立するためには、コロナ禍を契機に活用が一気に進んでいるデジタル技術が、大きな役割を果たす。その推進にあたって、エネルギー政策の観点からは、火力発電・原子力発電の活用による安価で安定した電力供給が重要であることを論じた。

文献

- Andrae, A., & Edler, T. (2015). On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030. *Challenges*, 6(1), 117-157.
<https://doi.org/10.3390/challe6010117>
- Burgess, M. G., Ritchie, J., Shapland, J., & Pielke Jr., R. (2020). IPCC baseline scenarios over-project CO₂ emissions and economic growth. *SocArXiv*, 2, 1-15.
<https://doi.org/https://doi.org/10.31235/osf.io/ahsxw>
- Christy, J. R., Spencer, R. W., Braswell, W. D., & Junod, R. (2018). Examination of space-based bulk atmospheric temperatures used in climate research. *International Journal of Remote Sensing*, 39(11), 3580-3607.
<https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1444293>
- Cisco. (2018). Cisco Predicts More IP Traffic in the Next Five Years Than in the History of the Internet. Retrieved from <https://newsroom.cisco.com/press-release-content?type=webcontent&articleId=1955935>
- Hao, K. (2019). The computing power needed to train AI is now rising seven times faster than ever before. *MIT Technology Review*. Retrieved from <https://www.technologyreview.com/2019/11/11/132004/the-computing-power-needed-to-train-ai-is-now-rising-seven-times-faster-than-ever-before/>
- Hourdin, F., Mauritsen, T., Gettelman, A., Golaz, J. C., Balaji, V., Duan, Q., ... Williamson, D. (2017). The art and science of climate model tuning. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(3), 589-602.
<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00135.1>
- Humlum, O. (2019). *State of Climate 2019*. Retrieved from <https://www.thegwpf.org/content/uploads/2020/05/State-of-the-climate-2019.pdf>
- IEA. (2017). *Digitalization & Energy*. Retrieved from <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/DigitalizationandEnergy3.pdf>
- Jones, N. (2018). How to stop data centres from gobbling up the world's electricity. *Nature*, 561(7722), 163-166. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-06610-y>
- Kiehl, J. T. (2007). Twentieth century climate model response and climate sensitivity. *Geophysical Research Letters*, 34(22), L22710.
<https://doi.org/10.1029/2007GL031383>

- Lindzen, R. (2016). GLOBAL WARMING and the irrelevance of science The Global Warming Policy Foundation. Retrieved June 5, 2019, from <https://www.thegwpf.org/content/uploads/2016/04/Lindzen.pdf>
- Lindzen, R. (2017). Straight Talk About Climate Change. *Academic Quest*, 30, 419-432.
- McKittrick, R., & Christy, J. (2018). A Test of the Tropical 200- to 300-hPa Warming Rate in Climate Models. *Earth and Space Science*, 5(9), 529-536. <https://doi.org/10.1029/2018EA000401>
- Mills, M. (2020). Our love of the cloud is making a green energy future impossible | TechCrunch. Retrieved from <https://techcrunch.com/2020/04/25/our-love-of-the-cloud-is-making-a-green-energy-future-impossible/>
- Sarewitz, D. (2016, May 11). The pressure to publish pushes down quality. *Nature*. Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/533147a>
- Strubell, E., Ganesh, A., & McCallum, A. (2019). Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP (pp. 3645-3650). <https://doi.org/10.18653/v1/p19-1355>
- Sun, L. H., Ai, W. X., Song, W. L., & Wang, Y. M. (2011). Study on climatic characteristics of China-influencing tropical cyclones. *Journal of Tropical Meteorology*, 17(2), 181-186. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-8775.2011.02.011>
- Synergy Research Group. (2019). Hyperscale Data Center Count Passed the 500 Milestone in Q3. Retrieved from <https://www.srgresearch.com/articles/hyperscale-data-center-count-passed-500-milestone-q3>
- Vecch, G. A., Swanson, K. L., & Soden, B. J. (2008). Whither Hurricane Activity? *Science*, 9(4). <https://doi.org/10.1029/2007GC001844>
- Zhang, Q., Ni, X., & Zhang, F. (2017). Decreasing trend in severe weather occurrence over China during the past 50 years. *Scientific Reports*, 7(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/srep42310>
- Zhao, M., Golaz, J. C., Held, I. M., Ramaswamy, V., Lin, S. J., Ming, Y., ... Guo, H. (2016). Uncertainty in model climate sensitivity traced to representations of cumulus precipitation microphysics. *Journal of Climate*, 29(2), 543-560. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0191.1>
- アニー・ジェイコブセン. (2017). *ペンタゴンの頭脳 世界を動かす軍事科学機関DARPA*. 太田出版.
- ヴォルフガング ベーリンガー. (2014). *気候の文化史 氷期から地球温暖化まで*. 丸善プラネット.
- シャロン・ワインバーガー. (2018). *DARPA秘史 世界を変えた「戦争の発明家たち」の光と闇*. 光文社.

- ドナ・ラフラムボワーズ. (2016). 査読／ピアレビューの問題点： 懐疑主義こそ不可欠.
Retrieved from <http://ieei.or.jp/wp-content/uploads/2019/12/Laframboise-Japanese.pdf>
- リチャード・ハリス. (2019). 生命科学クライシス—新薬開発の危ない現場. 白揚社.
- ロバート・ゲラー. (2011). 日本人は知らない「地震予知」の正体. 双葉社.
- ロバート・ゲラー. (2018). ゲラーさん、ニッポンに物申す. 東京堂出版.
- 奥野 正男. (2004). 神々の汚れた手—旧石器捏造・誰も書かなかった真相 文化庁・歴博関係学者の責任を告発する. 梓書院.
- 山口 裕之. (2017). 「大学改革」という病——学問の自由・財政基盤・競争主義から検証する. 明石書店.
- 岩本 宣明. (2019). *科学者が消える： ノーベル賞が取れなくなる日本*. 東洋経済新報社.
- 杉山大志. (2018a). 台湾の電力供給およびエレクトロニクス産業の未来 (キヤノングローバル戦略研究所 CIGS Working Paper No. 18- 001J). Retrieved from <http://www.canon-igs.org/workingpapers/WP18-001J.pdf>
- 杉山大志. (2018b). 地球温暖化問題の探究： リスクを見極め、イノベーションで解決する. 株式会社デジタルパブリッシングサービス. Retrieved from https://www.canon-igs.org/publication/20181212_5406.html
- 毎日新聞「幻の科学技術立国」取材班. (2019). 誰が科学を殺すのか 科学技術立国「崩壊」の衝撃. 毎日新聞出版.
- 藤部文昭. (2012). 都市の気候変動と異常気象. 朝倉書店.
- 豊田 長康. (2019). 科学立国の危機： 失速する日本の研究力. 東洋経済新報社.