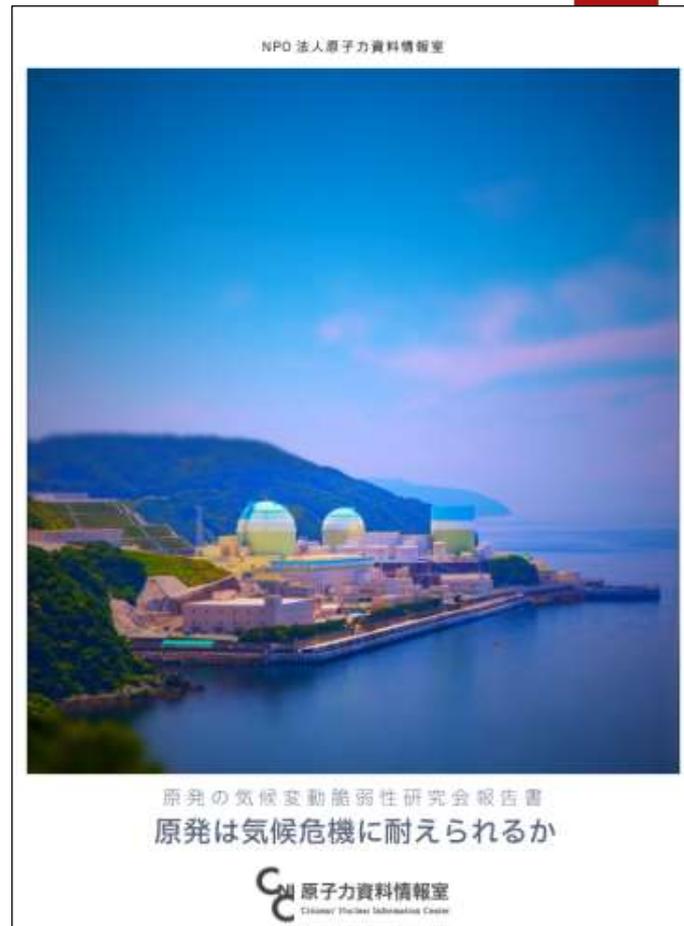


原発の気候変動ぜい弱性研究会報告書

原発は気候危機に耐えられるか

松久保 肇（NPO法人原子力資料情報室）

2023年12月8日



TBS
NEWS
DIG↓

聯合

United Nations

国連
グテーレス事務総長

「地球沸騰化の時代が来た」

米、英、日など22か国が2050年までに原発設備容量を3倍にすると宣言

3

مضاعفة إنتاج الطاقة النووية ثلاث مرات بحلول عام 2050

الإمارات العربية المتحدة، ديسمبر 2023

TRIPLING NUCLEAR ENERGY BY 2050

United Arab Emirates, December 2023



研究会の背景

- 差し迫った気候危機への対策として、原発の利活用が叫ばれている。
- 原発導入がCO₂削減にはつながっていない、気候変動によって原発の利用環境が劣化する、という論文もある
- 気候変動は長期的な現象であり、CO₂排出量が少ない電源は複数ある。CO₂排出量が少ないというだけで原発をすすめることは危うい。
⇒ 原発の気候変動ぜい弱性について、検討する必要がある

2022年6月、気候変動ぜい弱性に関する研究会を立ち上げ



- 研究会メンバー

鮎川ゆりか(千葉商科大学名誉教授、CUCエネルギー株式会社 取締役)

大島堅一(龍谷大学 政策学部 教授)

川井康郎(プラント技術者の会)

蓮井誠一郎(茨城大学 人文社会科学部 現代社会学科 教授)

松久保 肇(原子力資料情報室事務局長)

オブザーバー

山口 幸夫(原子力資料情報室共同代表)

※本研究は一般社団法人アクト・ビヨンド・トラストの2022年度企画助成事業を受けて実施



目次

1 原発への気候変動の影響—本報告書の概観—	1
2 原発は気候変動対策に効果的な選択肢か —経済性の観点から—	6
3 原発の安全性を脅かす気候危機の影響	12
コラム 原発と二つの冷却方式	24
4 新規制基準における気候変動	25
5 気候安全保障と原発 —その論理と対策としての原発の有効性の検討—	28
6 結論	41



1章 原発への気候変動の影響—本報告書の概観—

原子力発電所から排出されるCO₂排出量

- 日本によく引用されている電力中央研究所が推計した電源別CO₂排出量では、原発のCO₂排出量は他電源と比べても低い数値となっている。
- しかし、他の研究を見ると、原発のCO₂排出量は研究によってさまざま。

	電力中央研究所, 2015				Sovacool, 2008		
	BWR	PWR	BWR/プルサーマル1回	PWR/プルサーマル1回	各種推計の中央値	最小	最大
フロントエンド	10.93	13.92	9.18	11.00	25.09	0.58	118
原発建設	1.64	1.64	1.64	1.64	8.2	0.27	35
発電	4.45	4.45	4.45	4.45	11.58	0.1	40
バックエンド	1.68	1.69	2.93	2.95	9.2	0.4	40.75
設備解体	0.92	0.93	0.37	0.37	12.01	0.01	54.5
合計	19.62	22.61	18.63	20.43	66.08	1.36	288.25

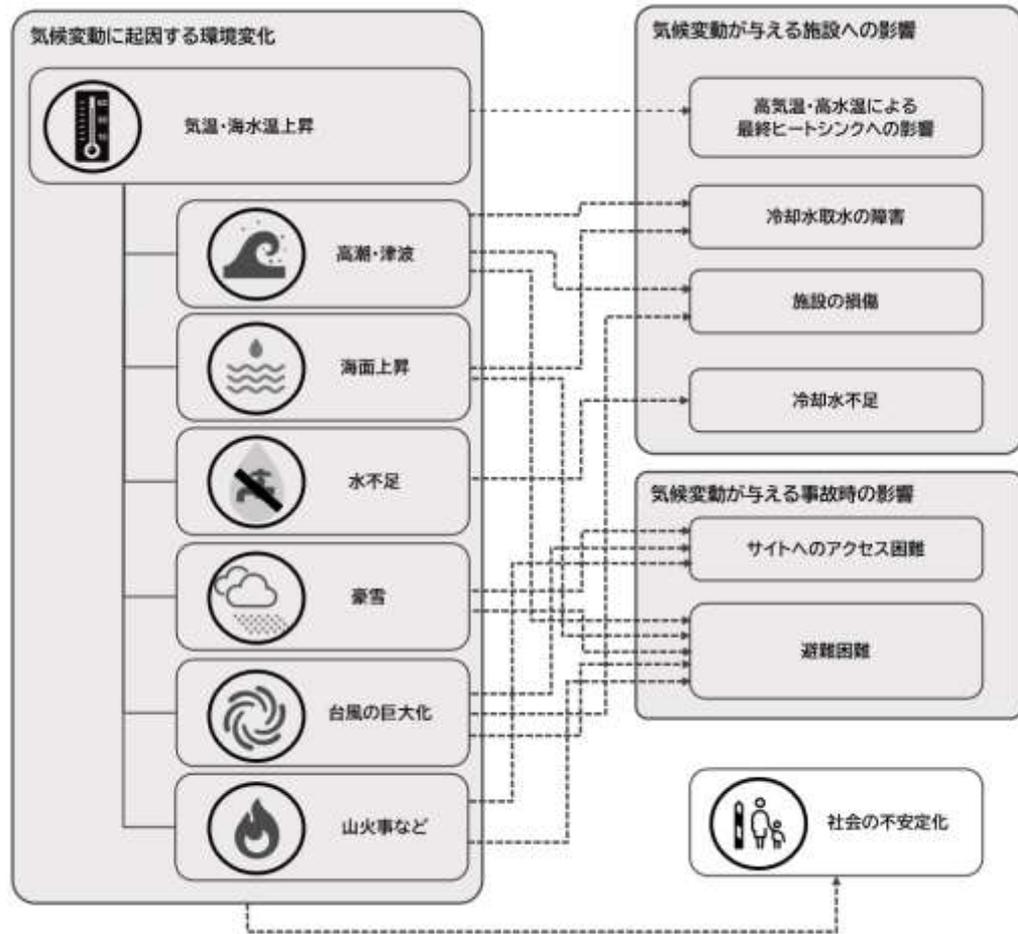
	Warner and Heath, 2012			Pomponi and Hart, 2021	
	各種推計の中央値	最小	最大	最小	最大
合計	17	12	110	24.61	32.74



気候変動に起因する環境変化は、大きく

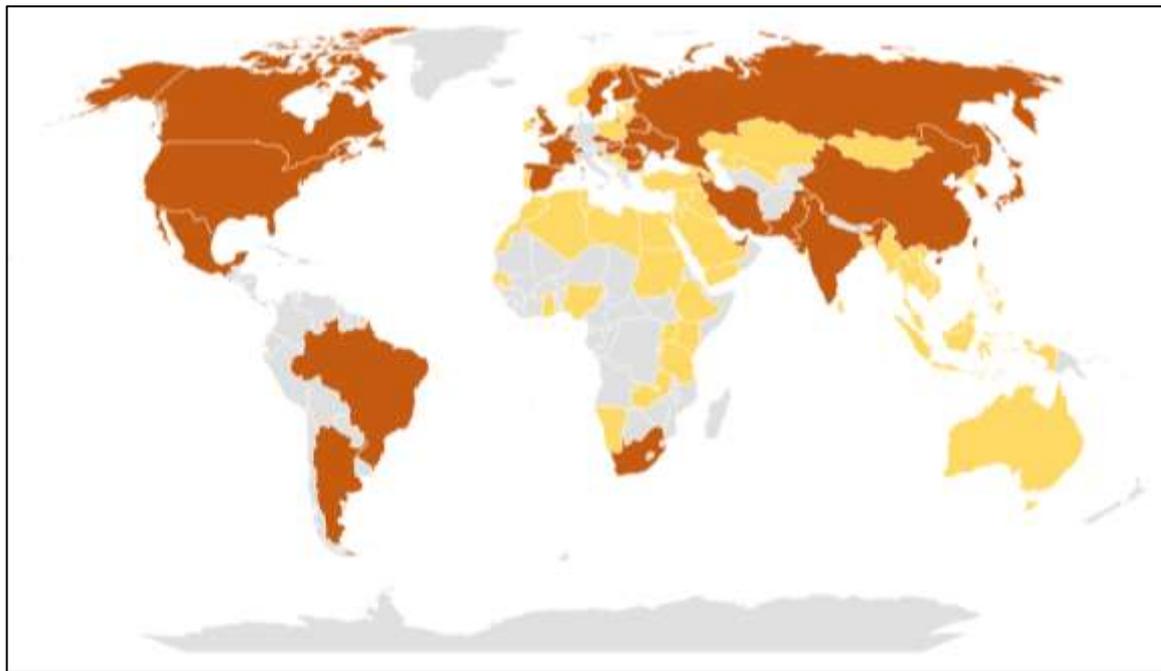
- ①原発施設への直接の影響
- ②原発事故時の影響の深刻化
- ③原発が存在する社会環境そのものへの影響

という3つの経路で原発に影響を与える



- 将来原発導入と見込まれる国の多くは、中東、アフリカ、東南アジア諸国
- 気候変動の影響をより多く受ける地域やアゼルバイジャンやスーダンのような紛争当事国も含まれる

⇒紛争時や気象災害時の原発の安全性は確保できるのか？



2章 原発は気候変動対策に効果的な選択肢か—経済性の観点から—

- 原発の計画から稼働までの期間は他電源より長い
- CO₂削減効果は稼働までの期間、CO₂排出の多い既存電源の電力に依存するため、計画から稼働までを含めて他電源と比較する必要がある。
- 100年間で見た場合、以下の通り

原発: 78~178g-CO₂e/kWh

風力発電: 4.8~14.8 g-CO₂e/kWh

太陽光発電: 0.8~26.9 g-CO₂e/kWh

- 電源別発電コストでは、原発は2023年時点で最もコストが高い電源、一方、風力は最安、2009年時点で最高値だった太陽光発電は2023年時点では風力に次いで2番目に安い電源

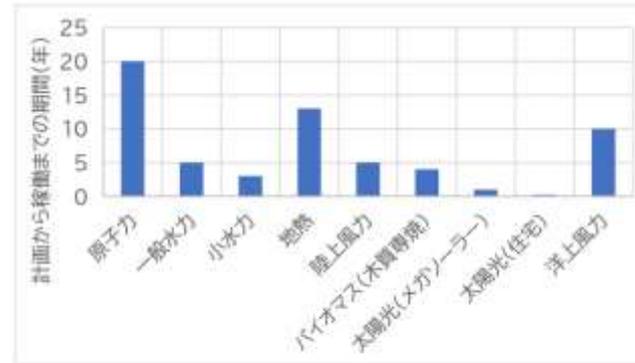


図 2-1 非化石電源ごとの計画から稼働までの期間

出典：内閣府(2011)

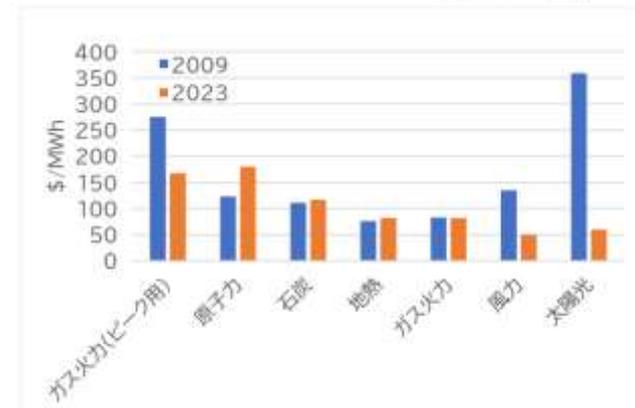
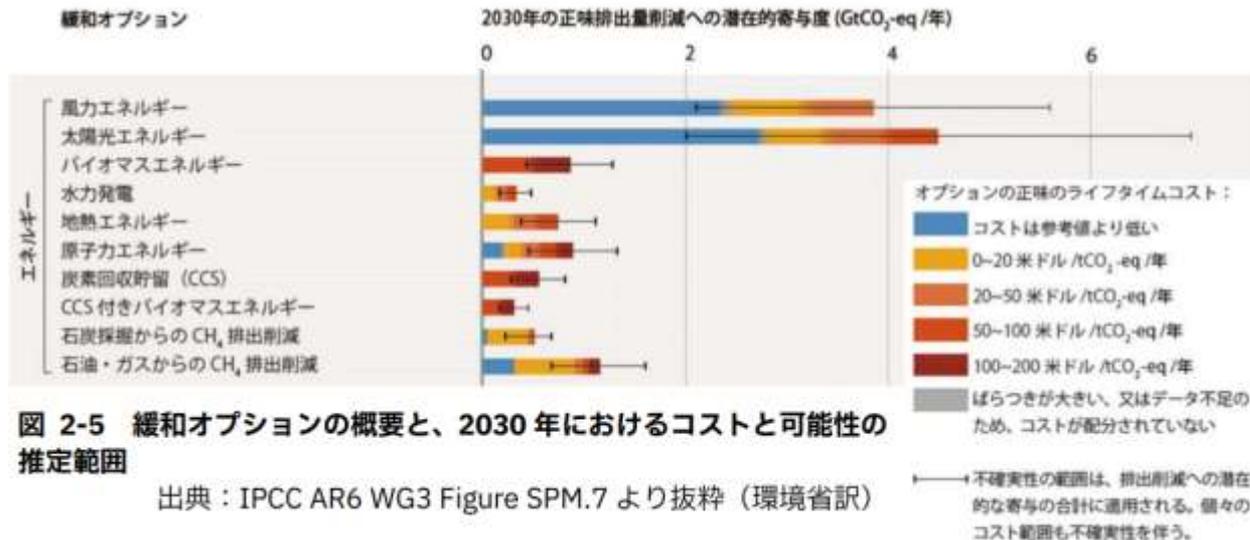


図 2-3 電源別発電コスト

出典：Lazard(2023)



- IPCC の第 6 次評価報告書第3作業部会報告書によれば100 米ドル/t CO₂-eq 以下のコストの対策で、2030 年までに、2019 年の排出量の半分にまで CO₂ 排出量を減らすことができる。
- 原発の大半はコスト高で、削減ポテンシャルはあまり大きくない一方、風力・太陽光には大きな削減ポテンシャルがある



- 原発のCO₂排出量の多くはフロントエンド(ウラン採掘～燃料製造)で発生
- 既知のウラン資源の大半はウラン含有率0.5%以下
- 現在は、ウラン採掘～製錬で発生するCO₂排出量は1.65 gCO₂/kWhと少ないが、採掘されているウランの含有率は0.5～1%のもの。今後、ウラン利用が続けば、ウラン含有率が低いものを採掘する必要が出てくる
- 結果、ウラン採掘に伴うCO₂排出量は近い将来、大幅な増加が見込まれる。引用した試算だと、2050年代、または70年代にはガス火力発電所と同等の排出量になる

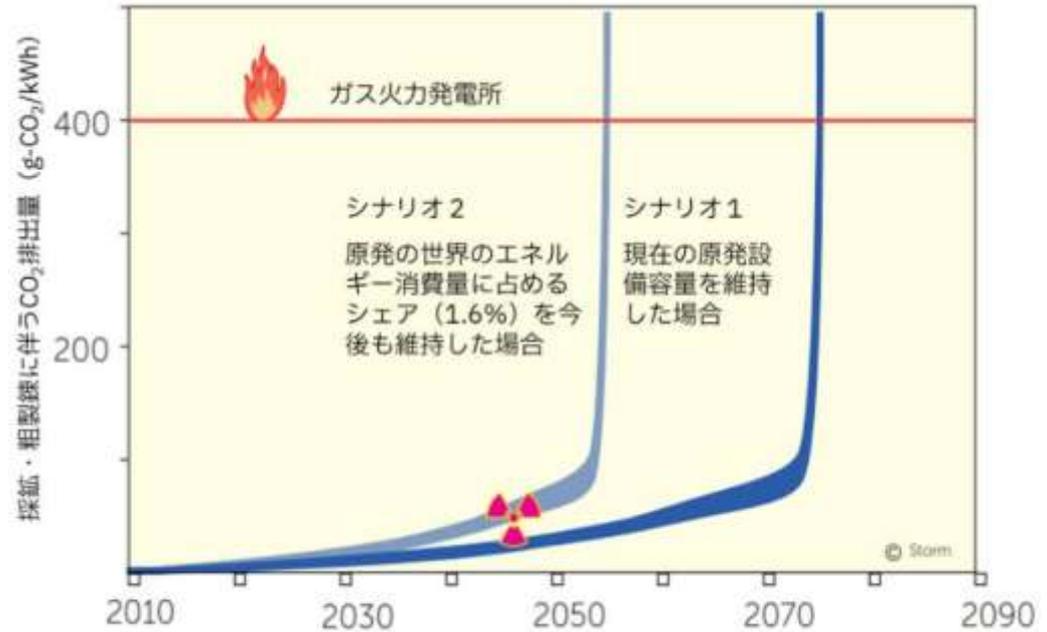


図 2-8 ウラン採掘・製錬に伴う将来のCO₂排出量推計

出典：Storm(2019)

原発は導入までに時間がかかり、コスト高
CO₂排出量は長期的に他の低炭素電源よりかなり多い
将来、CO₂排出量が大幅増になる懸念



3章 原発の安全性を脅かす気候危機の影響



世界の人々は3.11をどう見たか



福島原発内に入り込む海水

出典: Beyond Nuclear International (2018) "What are nuclear power plants doing to address climate threats?" <https://beyondnuclearinternational.org/2018/09/16/what-are-nuclear-power-plants-doing-to-address-climate-threats/>



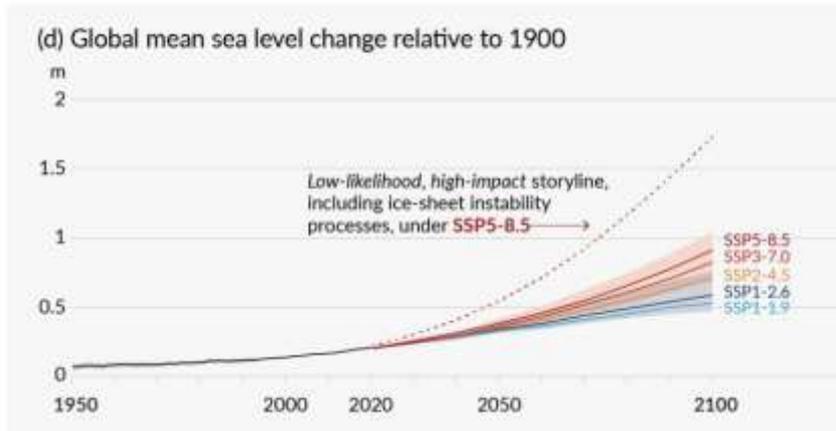
写真: 岩手放送

http://www.takeshobo.co.jp/sp/311_iwate/

大津波、福島第一原発爆発事故とともに、「**温暖化の影響で起こる将来の映像**」ととらえた。

海面上昇、巨大化するハリケーンや台風による大洪水、高潮、浸水などを表す「**実際の映像**」と見た。

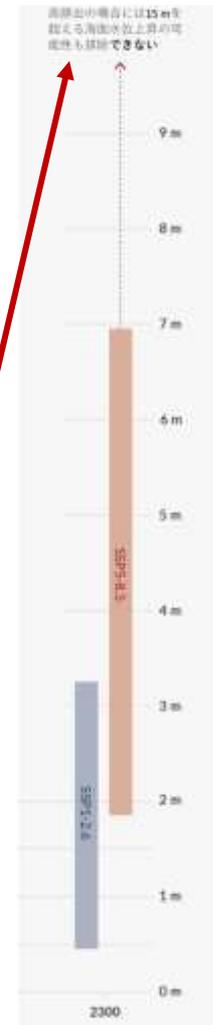
IPCC第6次評価報告書 WG1 海面上昇について



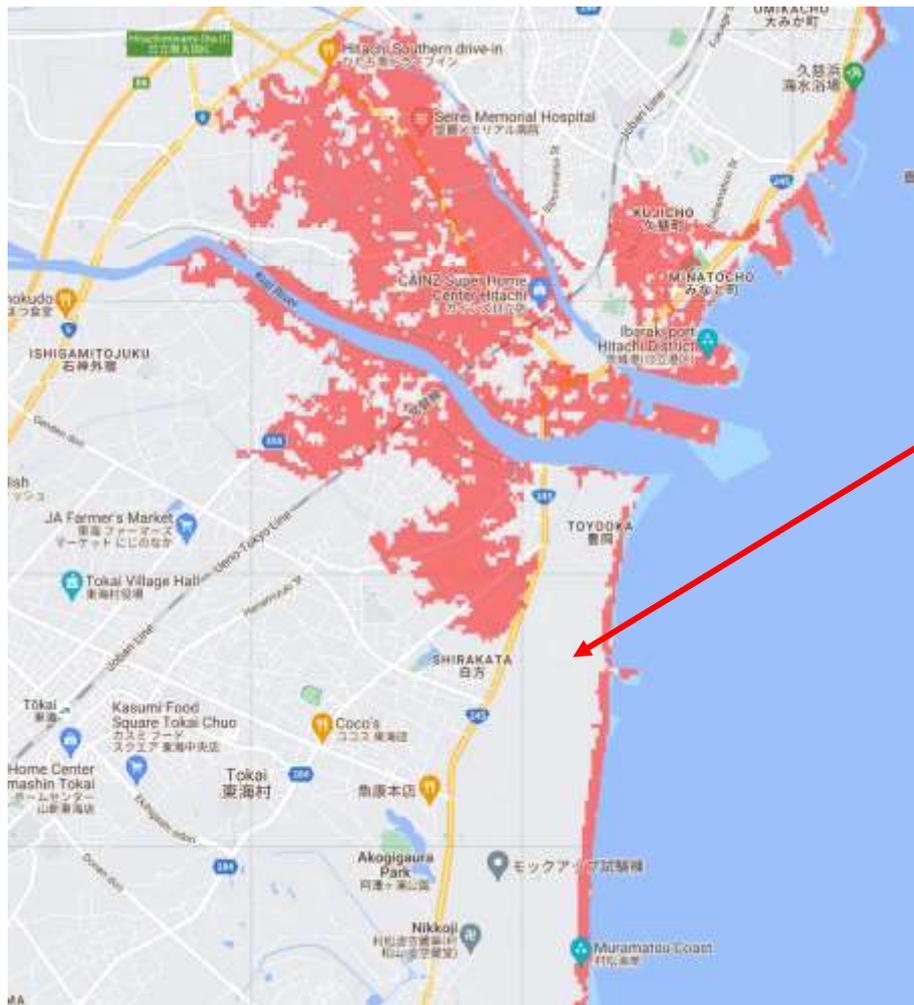
気温上昇幅 1.4℃～4.4℃の範囲内の海面上昇幅は、2100年で
0.28m～1.01m、2150年だと0.46m～1.88m

2300年だと、15mを越える上昇の可能性も「排除できない」とある。

原発は建設着工～運転～廃炉までは100年単位。
放射性廃棄物処分は万年単位の安全性が求められる。



2023年10月31日
報告書発表記者会見時
の鮎川ゆりか資料より



水位が1m上昇した場合の浸水状況の一例
東海第二原発の場合

Climate centralより作成



- DODは世界中に1700カ所に軍事施設を持ち、それらは海岸沿いにある
- Congressional Research Serviceがたびたび**気候変動の影響調査**を行っている
 - 米国では1億人の人々が海岸沿いに住む。気候変動による海面上昇による洪水、巨大化したハリケーンなどから護るためのアクセス道路を含む避難・適応計画立案を計画段階から支援するよう指導。
- DOD管轄内の施設は計画段階で気候変動の影響を考慮するよう**DOD指令**を出した**(2016年)**
- 米国議会はDODの軍事施設建設政策に、設計段階から海面上昇の影響を評価し、防災対策を施すことを**法令化(2019年)**
 - 議会はDOD施設が極端な異常気象やハリケーン、高潮と重なる大洪水などに耐え得るか、施設ごとに評価し、それらに耐え得るものとするを求めている

ローレンス・ウイルカーソン元米国務長官主席補佐官
(朝日新聞耕論「**辺野古 米国から見たら**」2019年2月22日)

辺野古は自然災害にも攻撃にも脆弱

軍事基地を沿岸部に建設する時代でもありません。気候変動による海面上昇で自然災害を被るリスクは高まっています。



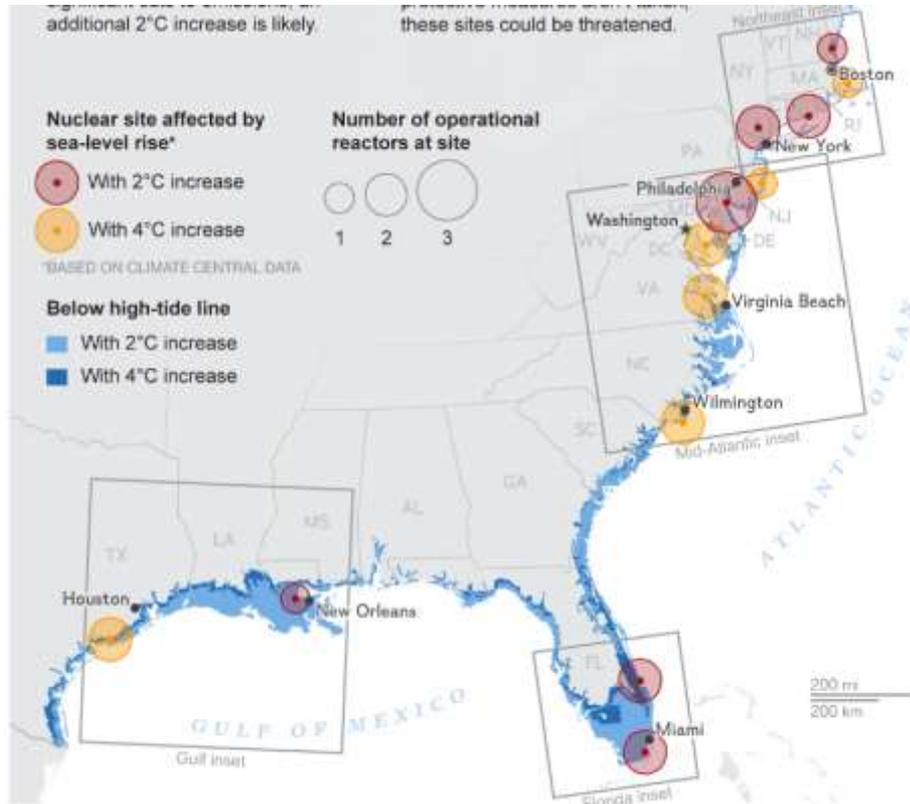
2023年10月31日
報告書発表記者会見時
の鮎川ゆりか資料より

DOD “Sea-Level Rise and U.S. Coasts” (2016)
 「海面上昇と米国の沿岸」(2016年)

Figure 8. U.S. Coastal Vulnerability Index for the Atlantic, Pacific, and Gulf of Mexico
 脆弱性表示 赤(非常に高い) 橙(高い) 黄(まあまあ) 緑(低い)



海面上昇のリスクに晒される米国東海岸の原発(2015年)



原発サイト赤○は、気温上昇幅が産業革命前に比べ
2°Cの場合
橙は**4°Cの場合**

○の大きさにより、そのサイトにある原発の数で、小さい順から1基、2基、3基を示している。

青い部分は高潮が届く部分で、**青は気温上昇幅が2°Cの場合、紺色は4°Cの場合**でさらに内陸へと広がる

出典: National Geographic (2015) "As Sea Levels Rise, Are Coastal Nuclear Plants Ready?" (2015年12月16日) <https://news.nationalgeographic.com/energy/2015/12/151215-as-sea-levels-rise-are-coastal-nuclear-plants-ready/>

認定特定、非営利活動
原子力資料情報センター
Citizens' Nuclear Information Center

2023年10月31日
報告書発表記者会見時の
鮎川ゆりか資料より

“Lights Out? Storm Surge, Blackouts, and How Clean Energy Can Help” (2015) 「停電？嵐が巨大化し電気が消える時、クリーンエネルギーが救ってくれる」(2015年)

- 憂慮する科学者連合(Union of Concerned Scientists)の2015年の研究報告
 - 米国の大西洋側にある、**原発**や**化石燃料火力発電所**、**送電線**、**送電システム**など電力供給側が、いかに高潮を招く暴風雨、カテゴリー3のハリケーン、沿岸地帯の大洪水に弱いかを示した。
- 2012年、2030年、2050年、2070年と**各地域の沿岸部がどのように浸水していくか**を図で示している。

<https://www.ucsusa.org/global-warming/science-and-impacts/impacts/lights-out-storm-surge-and-blackouts-us-east-coast-gulf-of-mexico#.Vmsi87iDFBc>

Jenkins, Alvarez, Jordaan, Energy Policy 137 (2020)

“Unmanaged climate risks to spent fuel from U.S. nuclear power plants: The case of sea-level rise”

「海面上昇に対する米国原発の使用済み核燃料へのリスク」

- ほとんどの使用済み核燃料はプールで保管されている。これらは最終処分または再処理を待つ「中間貯蔵」であるため、建屋や構造は原子炉建屋などにくらべ脆弱に作られている。
- 福島原発事故は、**進展する気候変動による海面上昇の脅威を示し**、改めて使用済み核燃料の貯蔵問題を提起した。
- 最終貯蔵問題を解決する一方、使用済み核燃料プールの脆弱性を改善する必要がある。

日本は使用済み核燃料貯蔵や原子力発電そのものが、危機的状況に進展している気候変動に対して大きなリスクがある、と考えてはいない！！



2023年10月31日
報告書発表記者会見時
の鮎川ゆりか資料より

MIT報告『世界の原子力発電所の気候変動に対する脆弱性』(2019年)

- 気候変動関連の災害、特に沿岸にある原発は**高潮や暴風嵐などによりFukushima級の事態が起こることは考え得る**。殊に1960年代に建設された古い原発では。
- 気候変動関連異常気象により原発の受けた影響事例紹介
 - 2003年 ヨーロッパ熱波で30基以上の原発で閉鎖、または発電量の抑制措置
 - 2014年 米国カリフォルニアの森林火災により、近隣の原発作業員の身の安全のため避難・運転停止
 - この頃から毎夏のヨーロッパでは原発が運転停止や出力抑制
 - **ヨーロッパの原発は、大気の気温上昇幅が1℃上がるごとに発電量が2%減少する**、とする論文を紹介(Linnerud, K., T. K. Mideksa, and G. S. Eskeland. 2011. The Impact of Climate Change on Nuclear Power Supply. The Energy Journal 32 (1): 149–168.)

【結論】こうした原発への悪影響を免れるためには国際協調が必要

- IAEAが音頭を取り、気候変動から原発を守る国際基準を作る
- 各国の原発の導入状況が異なるため、事業者が取り組めないなら、各国政府がやる
- それも無理なら、IPCCが基準を作るべき

- Increase in frequency of nuclear power outages due to changing climate (2021)

<https://www.nature.com/articles/s41560-021-00849-y>

過去30年で気候変動関連事象による原発停止数をみた。
 原因として「ハリケーンや台風」、「巨大暴風雨」、「温度」、「水」、「その他」に分けた。左は喪失発電量、右は停止時間。いずれも被害が多いのは「水」関係。水温上昇や干ばつによる水位低下を含み、これらは台風などのようにすぐには終わらないので、停止期間がのびてしまう。
 これは気温上昇1℃の話。今後2℃になって高排出シナリオでは、中期的には0.8%–1.4%、長期的には1.4%-2.4%のエネルギー喪失が見込まれる。

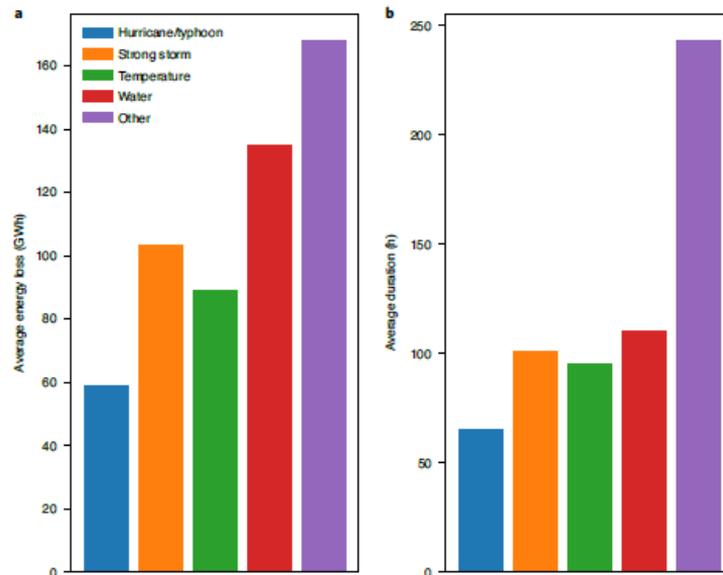


Fig. 5 | Characteristics of full outages induced by climate-linked events. The examined categories are: hurricane/typhoons, storms, temperature, water and other unidentified causes over the past decade (2010–2019). a, The average percentage share of annual energy loss of NPPs worldwide in GWh. b, The average duration (h) of the outages in the same dataset.

2023年10月31日
 報告書発表記者会見時
 の鮎川ゆりか資料より

- A stormy future? Financial impact of climate change-related disruptions on nuclear power plant owners (2023)

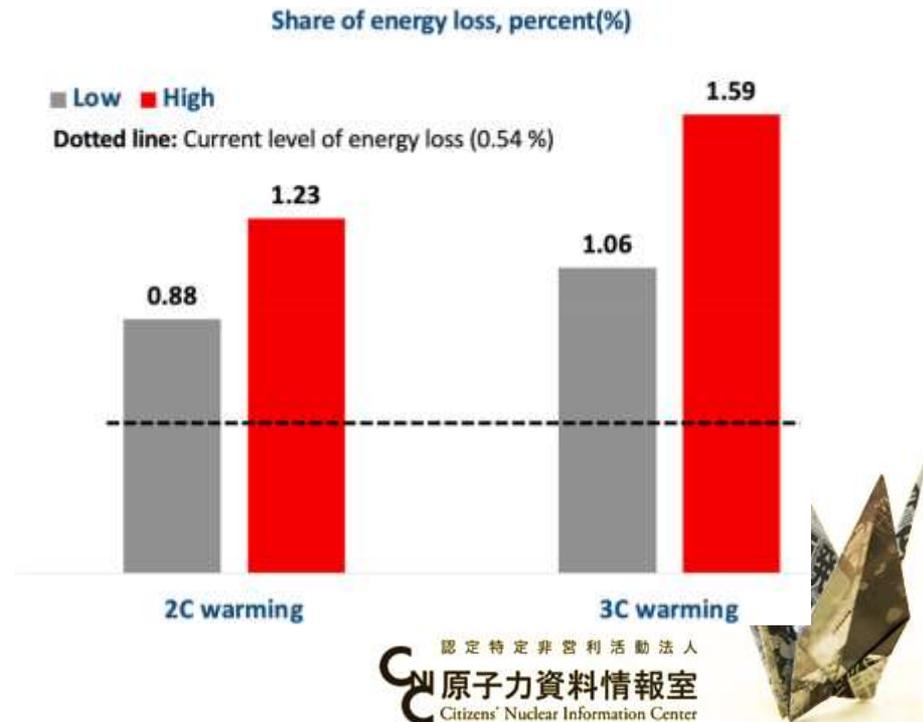
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957178722001485>

運転停止による原発の効率性、信頼性だけでなく、発電量あたりどのくらいの損失になるか、を示している。黒い点線は現在の状況。気温上昇幅が2℃、3℃の場合。

すでに原発は経済的に競合できる選択肢ではないことが明らか。MITがそれを発表した2003年には化石燃料との競合であったが、今では太陽光、風力などの再生可能エネルギーがずっと安く、顧客にとってメリットと考える事業者が増えている。

また巨大嵐などにより原発の外部電源や送配電線がやられると、危機的な状況になる。

2023年10月31日
報告書発表記者会見時
の鮎川ゆりか資料より



- **海水温上昇**

- 水蒸気が大量に発生し、豪雨、線状降水帯の発生
- 気温が0℃以下だと、**大雪**をもたらす
- 温暖化で平均気温が上昇しても日本海の水温上昇があり、大陸からのJPCZ(日本海寒帯気団収束帯)はなくなる限り、大雪はなくなる。
- 総量としての降雪量は減っても、1回で大量に降るドカ雪などはなくなる。

- **日本海側のドカ雪、雪嵐**

- 毎年起こる豪雪による道路の立往生
- 2022年12月19日 新潟県記録的大雪
 - 柏崎市、長岡市など国道8号、17号が26時間通行不能に
 - 柏崎刈羽原子力発電所に何か起きた場合、住民が避難できないばかりか、支援人材・物資を現地に届けられなくなる
- 日本海沿岸には、柏崎刈羽(7基)だけでなく、志賀2基(石川県)、若狭湾沿岸(福井県)に8基、廃止措置中のもんじゅなど7基、島根2基など合計26基ある。



原発の温暖化リスクの研究は 日本にあるのか

- 欧米には海面上昇に対する膨大な研究がある
 - 火力発電所
 - 原発
 - 軍事基地
- 日本での原発の温暖化リスク研究は見つけれない
 - **そもそもIPCCシナリオをベースにした日本の「エネルギー基本計画」、「エネルギー需給見通し」等を見たことは一度もない。**
 - 気温上昇幅1.5℃、2℃、4℃などの想定をしてはいない
- **日本は福島原発事故から何も学んでいない？！**

「もし原発を使いたいなら温暖化問題を先に解決しなければならない」
David Lochbaum (UCS) NYT (2007年5月20日)



4章 新規制基準における気候変動

- 実用発電用原子炉に係る新規制基準には将来の気候変動への対策を義務付けるような規定はない
- 設備に損傷を与える可能性のある外部事象として地震（第四条）、津波（第五条）、その他の外部からの衝撃（第六条）を考慮すべきとしている。
- 第六条では、想定される自然現象として「洪水」「風（台風）」「竜巻」「凍結」「降水」「積雪」「落雷」「地滑り」「火山の影響」「生物学的事象」「森林火災」等が列挙。これら事象の発生時においても施設の安全機能が損なわれてはならないとされている。
- 想定されるべき外部事象の規模は、原子力施設毎にそれぞれ「基準地震動」（第四条）と「基準津波」（第五条）が設定されると共に、第六条に挙げられた自然現象については「**過去の記録、現地調査の結果及び最新知見等を踏まえて、適切に予想される**」もの、とされる



- 現行の規制や設計の基準は、設計時点における最大外部衝撃予測値に対して安全機能が損なわれない設備を求めているだけのものであり、温暖化や異常気象による将来的なリスクは、設計余裕を除いては考慮されていない
- 将来リスクとしては以下のような事象が考えられる。
 - 想定を超える強風、遡上津波高さ、豪雪といった外部事象の襲来
 - 設備の老朽化に伴う強度劣化、機能劣化による対策の不全化
 - 地盤沈下による相対的な海面上昇
 - 海水温度上昇による受容範囲を超えた発電効率の低下
 - 発電設備周辺における障害の発生。例えば、避難ルート、資材・人員の輸送ルート、外部電源設備(送電線、変電所など)、等々
 - 地震、ならびにこれら事象の重畳



5章 気候安全保障と原発 —その論理と対策としての原発の有効性の検討—

報告の背景

1. 「気候危機」と呼ばれる気候変動影響の悪化
2. 気候変動が安全保障上の脅威として認識される「気候安全保障」(Climate Security)が注目
3. 安全保障上の問題にまでなってきた気候変動に対して有効な解決策として日本では原発再稼働が浮上
4. 他方で、原発が気候変動にどれだけ影響を受けるかその脆弱性評価については議論が不十分

気候安全保障(Climate Security)

- 気候変動が「人為性」「能力」「意図」という安全保障上の脅威を構成する要件を満たす
 - 気象学の進展が「人為性」「能力(影響力)」を明らかにし、その科学が「意図」についても未必の故意が成り立つことを明らかにした
- 原発を気候安全保障の文脈に積極的に位置づけようとするなら緩和策が中心だが、それでもコスト高や国際秩序の進展、安全保障へのインパクトの観点からは分かっていないことが多いため慎重な議論がさらに必要

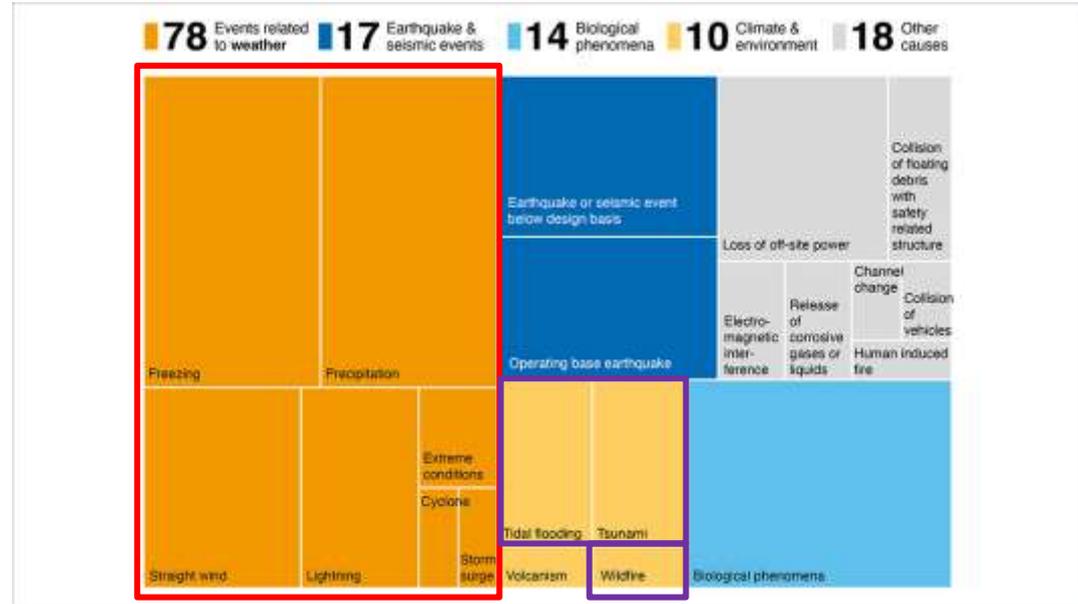
表1 気候安全保障の4種類の定義

定義の分類	何を脅威としているか	何を脅威から守ろうとしているか	安全保障のための手段
長期的かつ不可逆的な地球規模変化	温暖化や気候変動等の地球規模の変化	地球、人類、生態系	温室効果ガス排出量の削減(緩和策)
個人への短期的かつ突発的なリスク	地域あるいは個人レベルでの異常気象やそれに付随する様々な損失・損害	人々の日常生活や、その前提となる食料やエネルギー等基本的な物資の安定供給	適応策、レジリエンス構築
紛争や暴力の根源的要因	人々の移住等、人の対立の原因となるもの	民族等、人の基本的まとまり	社会不安につながる諸要素の除外
軍事力や防衛力への影響	海面上昇等の長期的変化、および、異常気象等突発的事象	国土、軍事施設、防衛施設	防衛その他軍事的体制分野での適応策

(出典: 亀山・小野、2020。国立環境研究所ウェブサイト上の訳)

緩和策としての原発

- IAEA報告書でも、気候関連の事象が原発に影響する事例が多い
 - 直接的影響(赤枠)だけでなく、間接的影響(紫)も含めるとかなりの割合に
- 強い気候ストレスが将来待ち受けており、中には海面上昇のように超長期にわたるものもあり、様々な自然現象に対応していく必要があるため、さらなるコストをかけての対策の必要性が増大する懸念

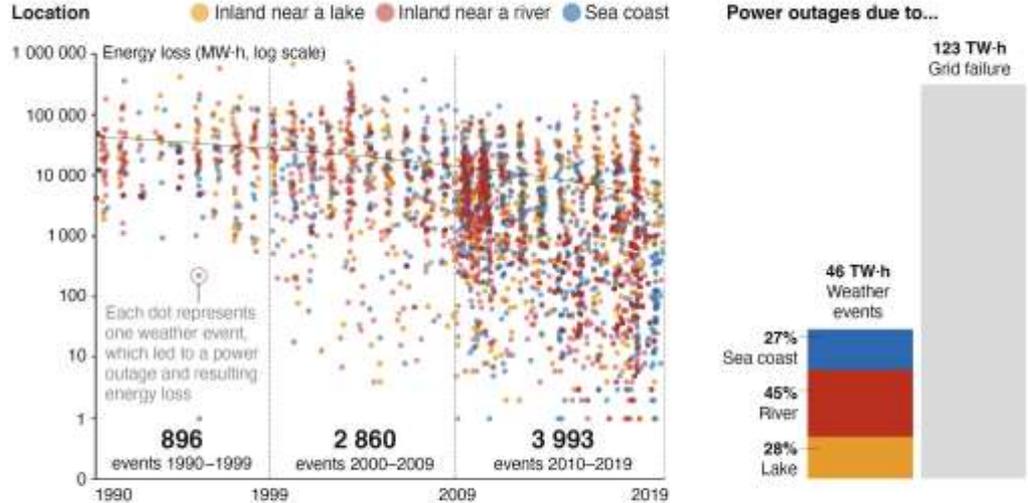


(出典:IAEA(2022)“Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050 (2022 Edition)”)

緩和策としての原発

- 気候現象による世界の原発の停止件数は2000年代以後急激に増加。これによる電力損失の総量はこれまで減少傾向にあるが、今後は予測不可能
- 新規規制基準の枠組みでも対策は多岐にわたり複雑で、実現は困難で高コスト。リスク増大は現状のまま推移すれば不可避
- 日本に多い海岸沿いの事故件数が増加しており、リスク増大と対策コスト増は「安定したベースロード電源」としての原発の位置づけにとっては不安材料

Figure 16: Reported nuclear power outages due to weather events, by plant location.

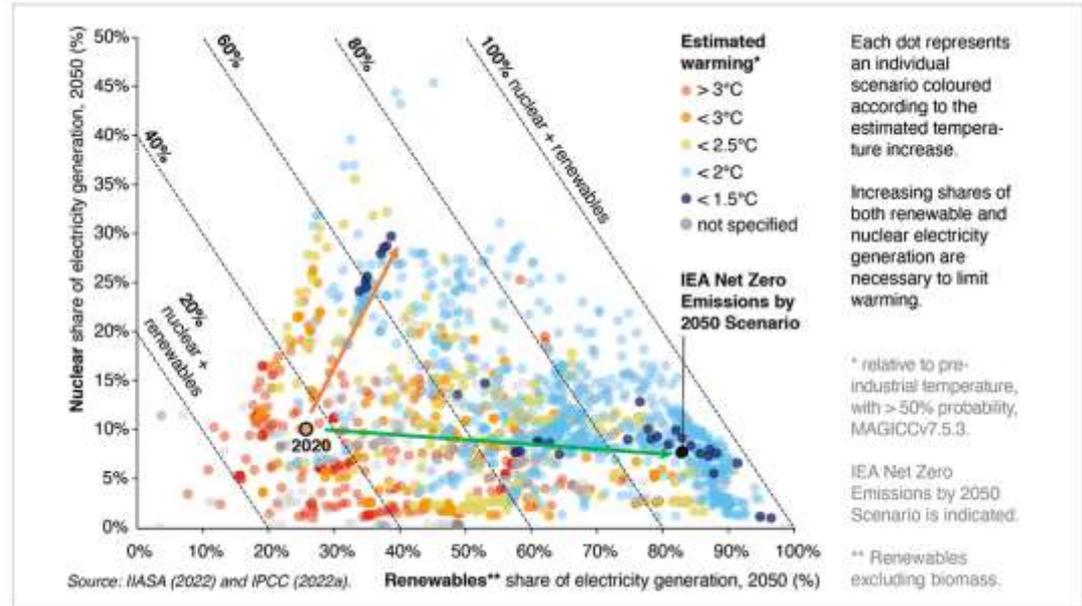


Source: based on data from the IAEA (2021b).

(出典:IAEA(2022)“Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050 (2022 Edition)”)

ふたつの将来シナリオ

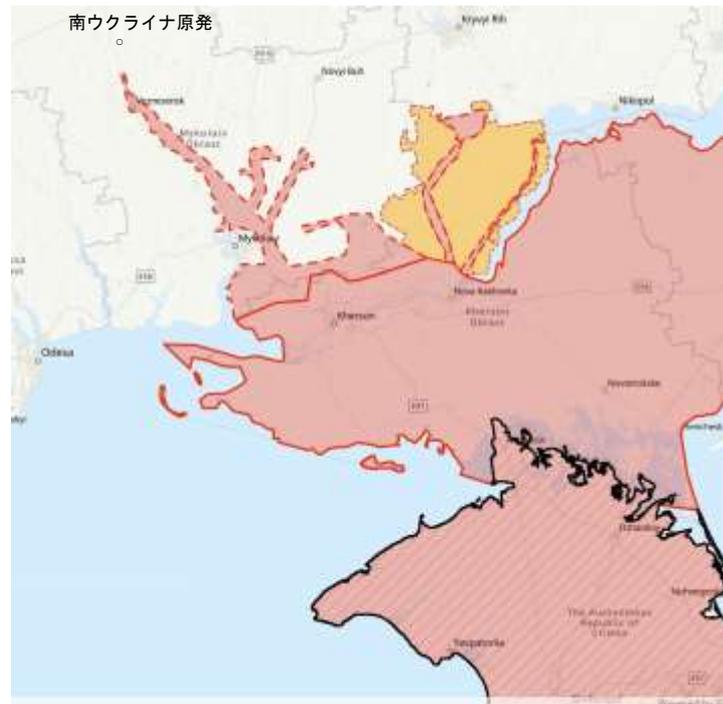
- IAEAの描くシナリオにおいて、今世紀末1.5℃以下に抑えるにはふたつの道がある
 - 原子力と再エネ(バイオマス除く)の割合を再エネ80%程度、原子力10%程度に抑える道
 - 原子力と再エネ(同)の割合を再エネ40%程度、原子力を30%程度にする道
- 第一の道により2℃や1.5℃達成ポイントが多い
 - 我々は2050年目標に向かってどの道のりを選んでいくのか、問われている



(出典:IAEA(2022)“Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050 (2022 Edition)”矢印は筆者加筆)

新たな原発へのリスクとしての戦闘行為

- 1980年のイスラエルによるイラク・オシラク原発への空爆が最初
- それ以後も中東地域で原発への攻撃例はいくつかあった(CNICプレスリリース2023/03/04)
- ロシアはインフラ攻撃の方針に基づき、ザポロジエ原発だけでなく、南ウクライナ原発も狙っていた形跡がある(戦争研究所ウェブサイト)
- 安全保障が広義にも狭義にも担保されない中での原発利用は国の脆弱性を高め、リスクも高める選択



(出典:戦争研究所ウェブサイト)

NPO 法人原子力資料情報室



原発の気候変動脆弱性研究会報告書
原発は気候危機に耐えられるか

 原子力資料情報室
Citizens' Nuclear Information Center

・2023年10月発行

ダウンロードは

<https://cnic.jp/50004> から

認定特定非営利活動法人
 原子力資料情報室
Citizens' Nuclear Information Center



原発3倍宣言の問題点

図1 各国の約束に基づく原発の発電電力量推移

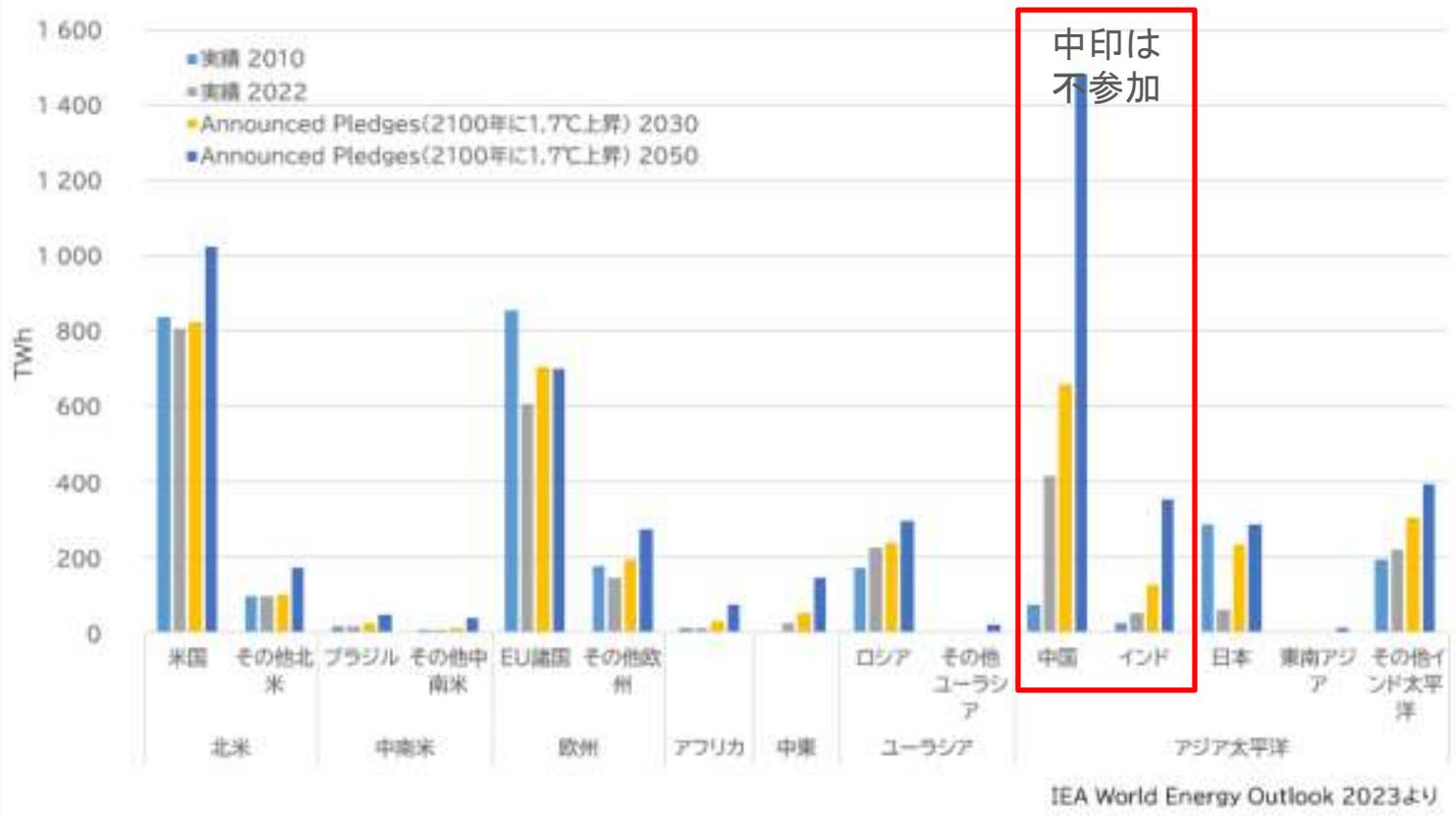
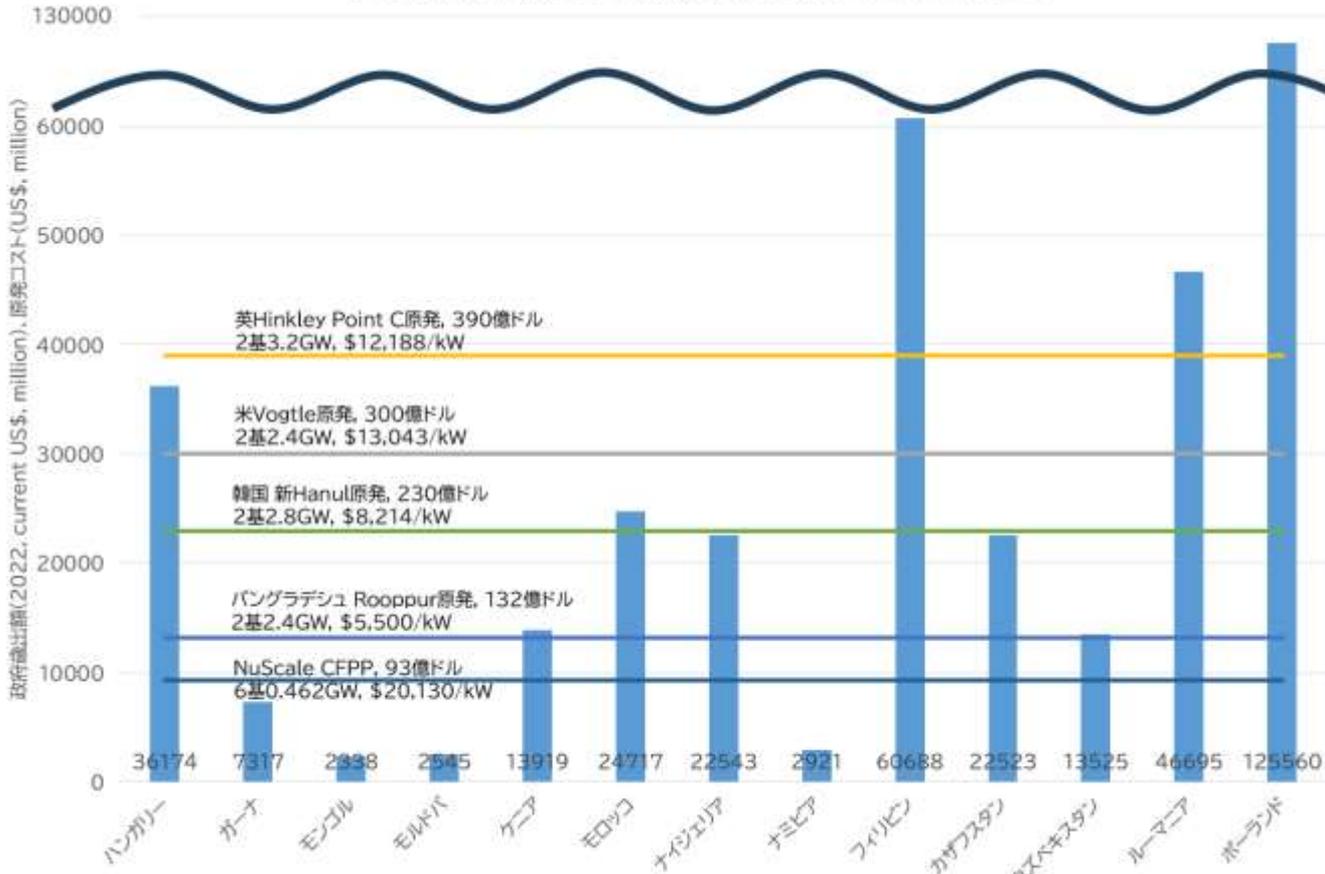


図2 原子力導入見込み国の歳出額(軍事支出除く)と原発導入コスト



各国の政府歳出額(General government final consumption expenditure(2022, current US\$)は世界銀行データベースより
 原発のコストは各社の発表資料および報道資料などにより作成

多くの国で原発
 導入コストは国家歳出額をはるかに上回る



原発と 気候危機

NPO 法人 原子力資料情報室
Citizens' Nuclear Information Center



原子力資料情報室 新刊パンフレット

原発と気候危機

見やすい図表とやさしい文章で
丁寧に解説しました

対象：高校生から大人まで

2021年3月31日 初版 第一刷
発行 原子力資料情報室 600円
本文 フルカラー 56

CNICの本屋さんでお買い求めください
書店でもお求めいただけます（地方小出版取り扱い）