

「市場・系統運営」および
「新たな太陽光モデル」を考えるシンポジウム

気候変動の影響を受ける発電事業

日時:2019年3月20日(水)
場所:京都大学 吉田キャンパス本部構内
国際科学イノベーション棟 5Fシンポジウムホール

京都大学大学院経済学研究科再生可能エネルギー経済学講座
一般社団法人 太陽光発電協会 共催

特任教授 加藤 修一

石炭火力発電所、英国のウェストミッドランズ

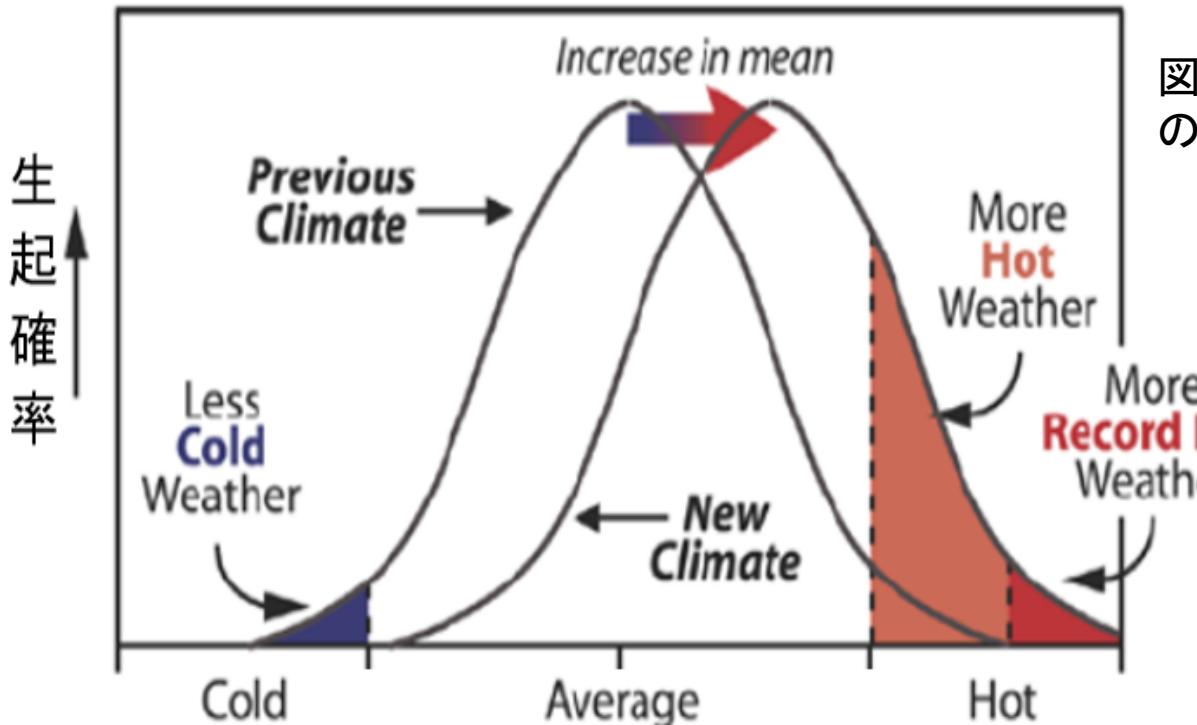


図-極端な事象確率に関する気候変動の効果（資料：IPCC 2007:WG1-AR4）

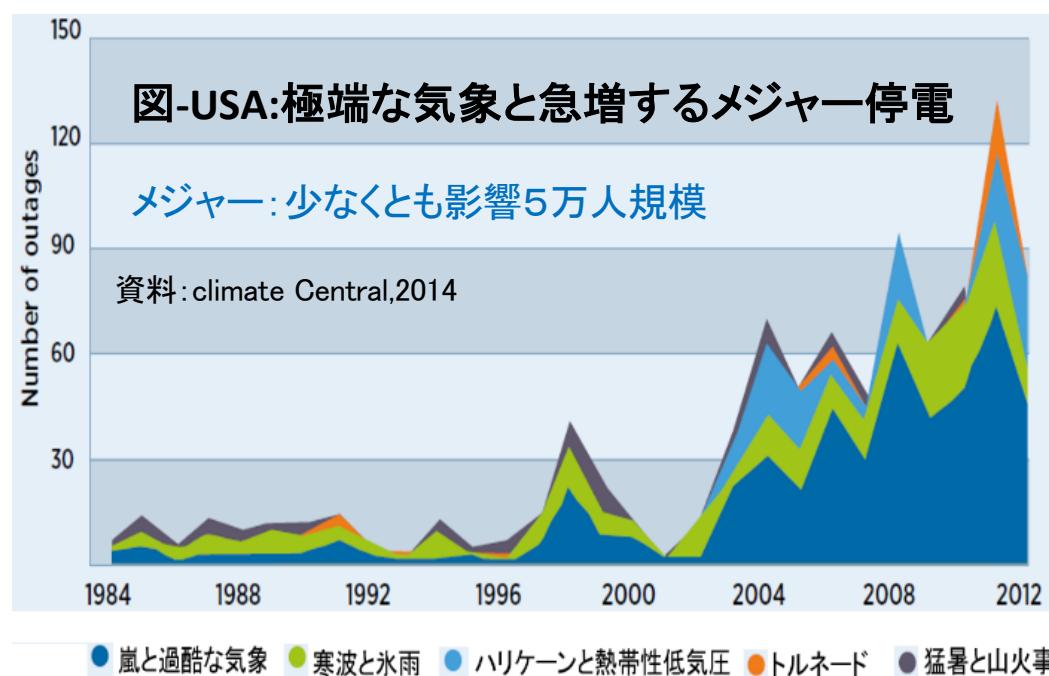
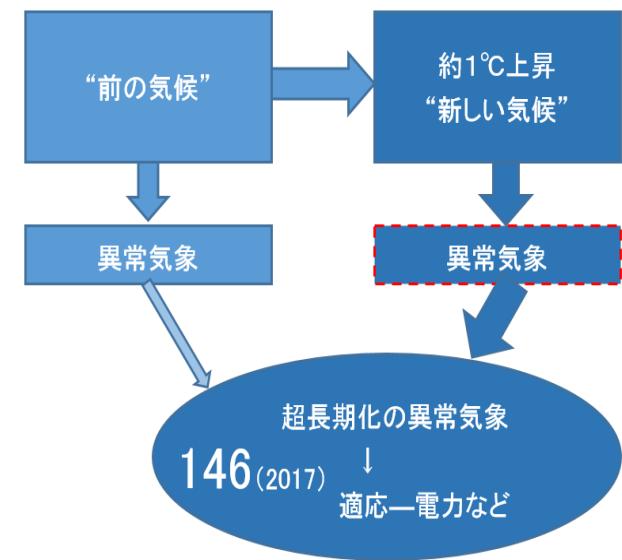
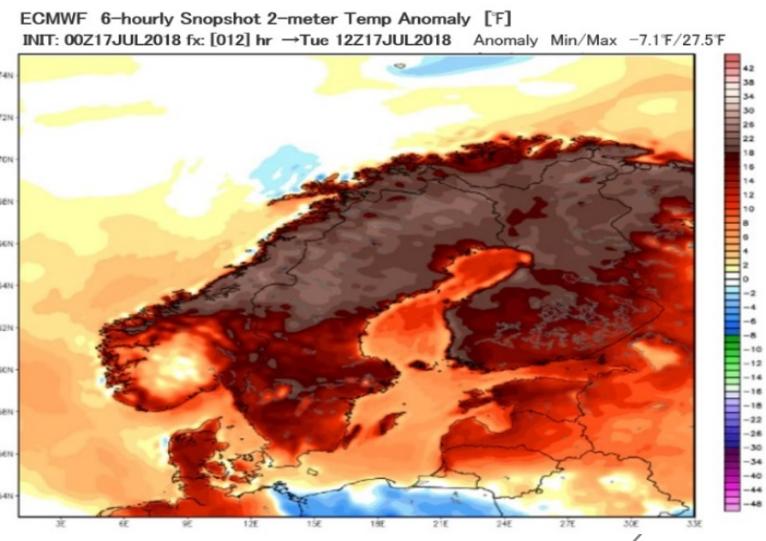
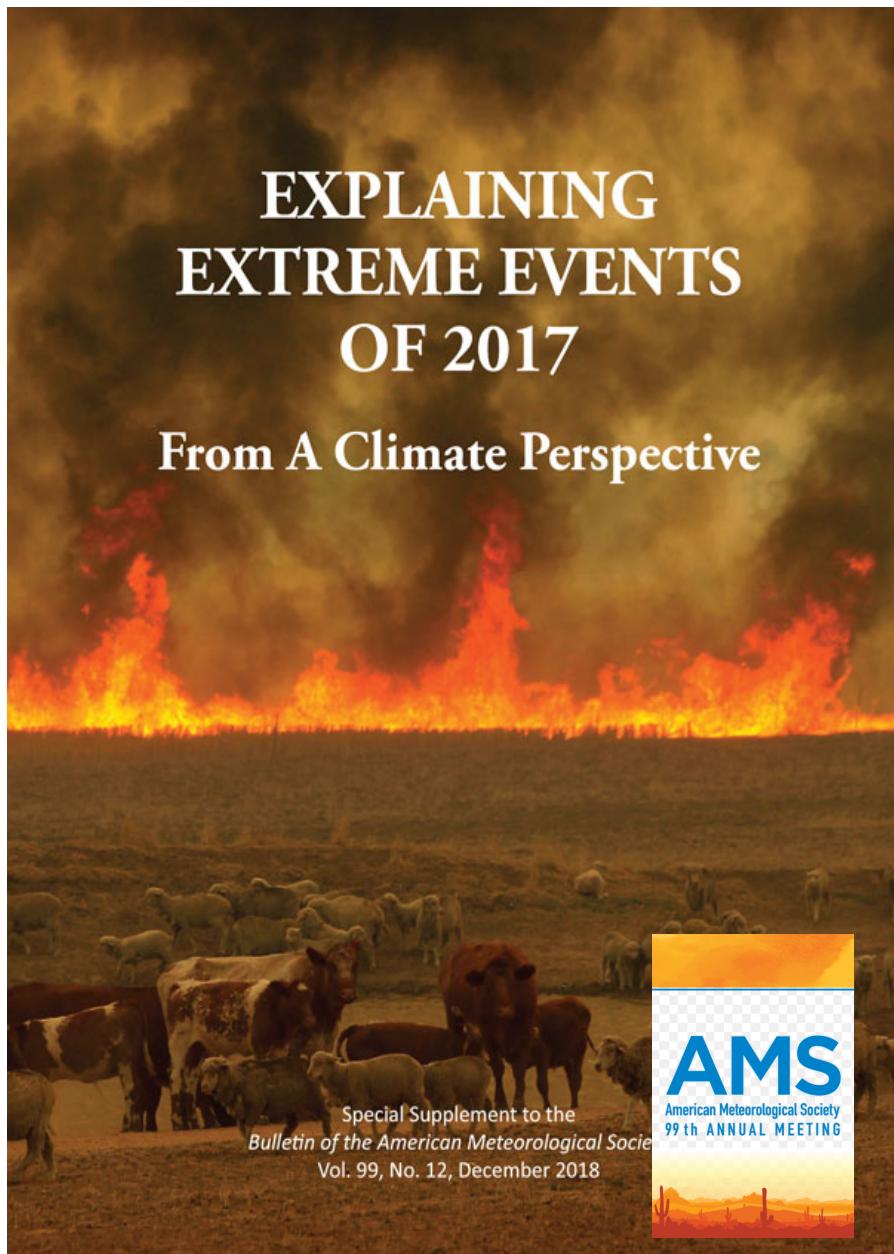


図 熱波・山火事が頻発した北欧(2018.7)



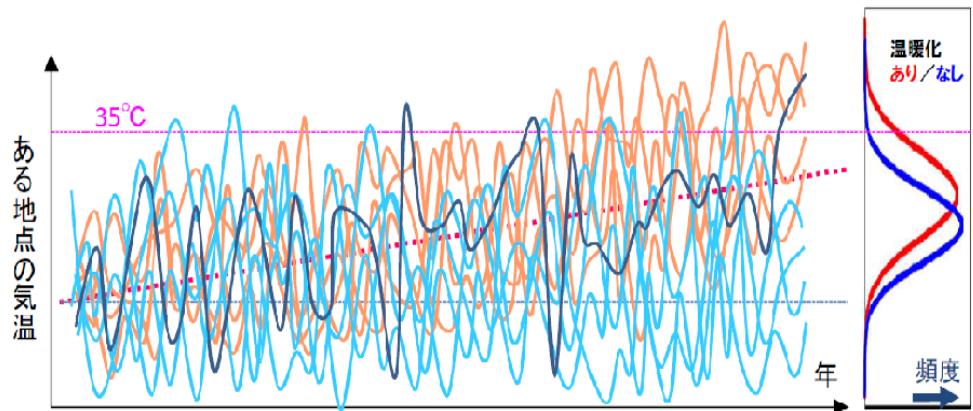
気候変動と異常気象



アメリカ気象学会(AMS)編集 2018月12月

イベント・アトリビューション (EA)

- 気候モデルを用いて、過去の気候を模した大量の実験を行う。
- さらに人間活動による温暖化が無い設定で大量の実験を行う
- 目の前の異常気象イベントの発生確率が、人間活動によってどれだけ変わっていたかを、確率的に推定する



資料:今田由紀子 (気象庁気象研究所)

↑過去には気象庁気象研究所(MRI)の全球気候モデル MIROCによって計算された現在気候実験、近未来気候実験、21世紀末気候実験の多くのシミュレーションによる結果である。

←10ヶ国、120人の気象専門家が長期的な過去データとシミュレーションモデルを駆使して2017年は、146異常気象を検証し約70%が気候変動と実質的なつながりを確定。

参考: 15IMPACTS: Major Weather Events and Impacts of 2018

異常気象が及ぼす発電技術等への影響度

- ・異常気象に伴うヨーロッパの熱波:2003, 2006, 2015, 218
- ・火力発電などの深刻なシャットダウン、発電抑制の発生

技術	△気温	△水温	△降水量	△風速	△海 水面 L	洪水	熱波	ストーム
Nuclear	1	2		-	-	3	1	-
Hydro	-	-	2	-		3	-	1
Wind (onshore)	-	-	-	1	-	-	-	1
Wind (offshore)	-	-	-	1	3	-	-	1
Biomass	1	2	-	-	-	3	1	-
PV	-	-	-	-	-		1	1
CSP	-	-	-	-	-	1	-	1
Geothermal	-	-	-	-	-	1	-	-
Natural gas	1	2	-	-	-	3	1	-
Coal	1	2	-	-	-	3	1	-
Oil	1	2	-	-	-	3	1	-
Grids	3	-	-	-		1	1	3

注1) 3=Severe Impact, 2=Modium Impact, 1=Small Impact, - =No Significant Impact

注2) 上欄の△印は気候関連変数、無印は気候変動事象、注3) 11発電技術+Gridsの12技術。

資料: EC, Investment needs for future adaptation measures in EU nuclear power plants and other electricity generation technologies due to effects of climate change Final report, 2011.

異常気象に伴うヨーロッパの熱波:2003、2006,2015,2018

写真-1 液水一河底がひび割れのライン川



資料:Patrik Stollarz /AFP、2018.10 現在。

写真-2 10月下旬:河床を見せたライン川(ドイツ)



資料:AFP、撮影写真、2018.10 による。

写真-3 流量の減少のライン川
- 河床がむき出になり海運に影響 -



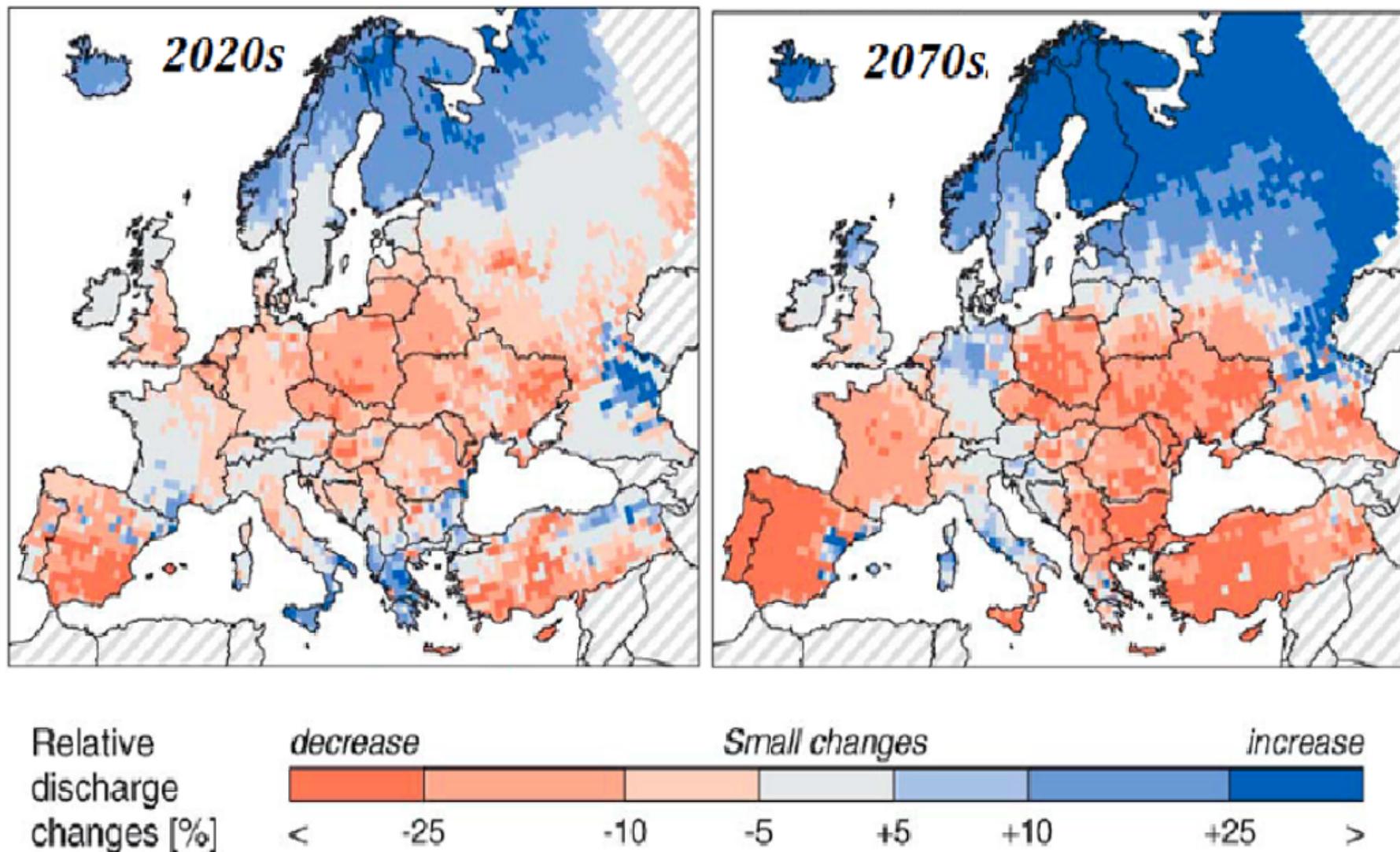
資料:DW-made for minds, Germany swelters
under heat wave, 2018.7.28 [barge traffic](#)平底荷船

| 写真-4 干上がった? 河床



資料:Karin Jäger (cb) 2018年10月

図 モデルシミュレーション分析による河川流量の変化率
—北欧や北方諸国の河川流量は、時には大洪水になりうる—

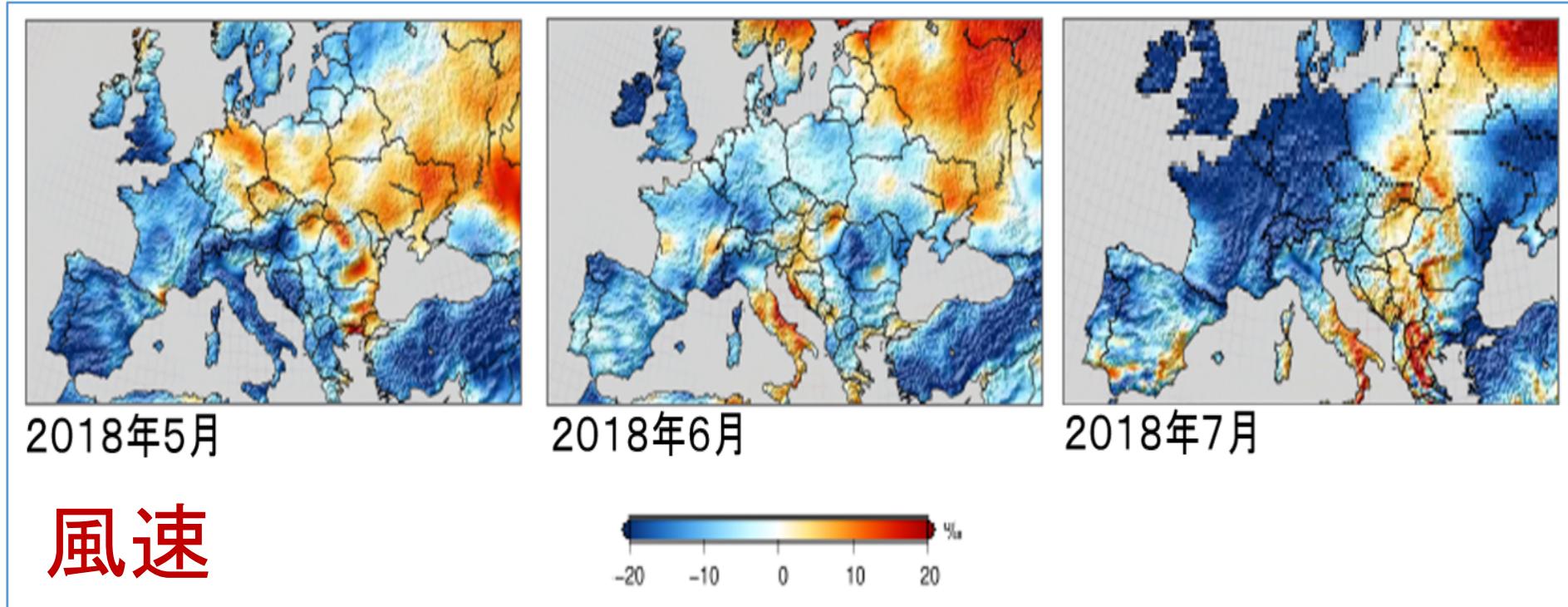


資料: Lehner, B., Czisch, G., & Vassolo, S. (2005). The impact of global change on the hydropower potential of Europe: A model-based analysis. *Energy Policy*, 33(7), 839-855.

図 風速のノーマル(約40年間)からの差異(%)

熱波の影響図(1)

英國、フランス、ドイツなど
-20% 渴風wind drought



注: 以下はMERRA2(The Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2)の解析結果。風力発電機の100m位置の風速について、1980年～2017年の平均(normal)と2018年とを比較している。青はノーマルより%だけ小さく(弱く)、赤は%だけ大きい(強い)。白地はノーマルに等しい。
資料: VAISALA、“Does the sun shine more brightly during a wind drought?” より

英文コラム

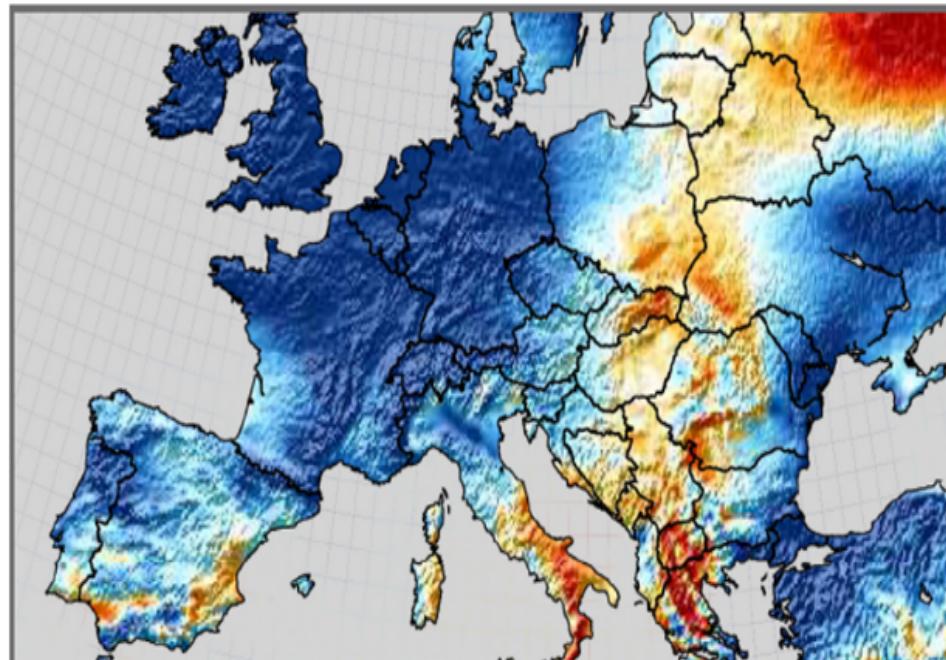
- Parched Energy
- Thirsty Energy
- The Energy sector is feeling the heating等。

熱波の影響図(2)

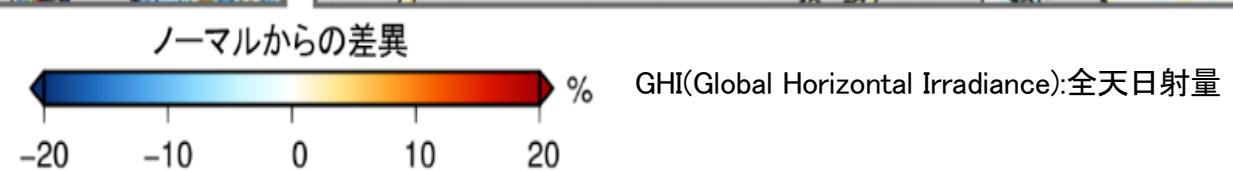
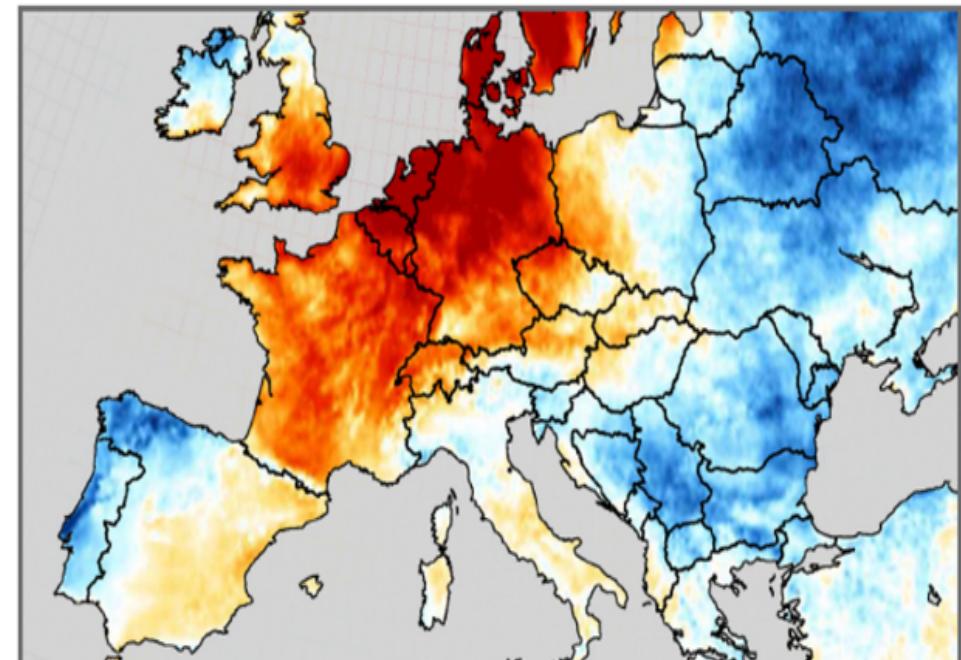
風速と太陽光との相互関係
—約40年間のノーマルからの大きな差異—

風速：“渴風”的時は？ 太陽光は強い？

2018年7月のノーマル風速の差異(%)



2018年7月のノーマル GHI の差異(%)



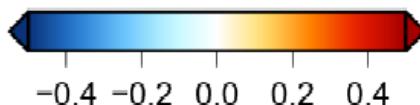
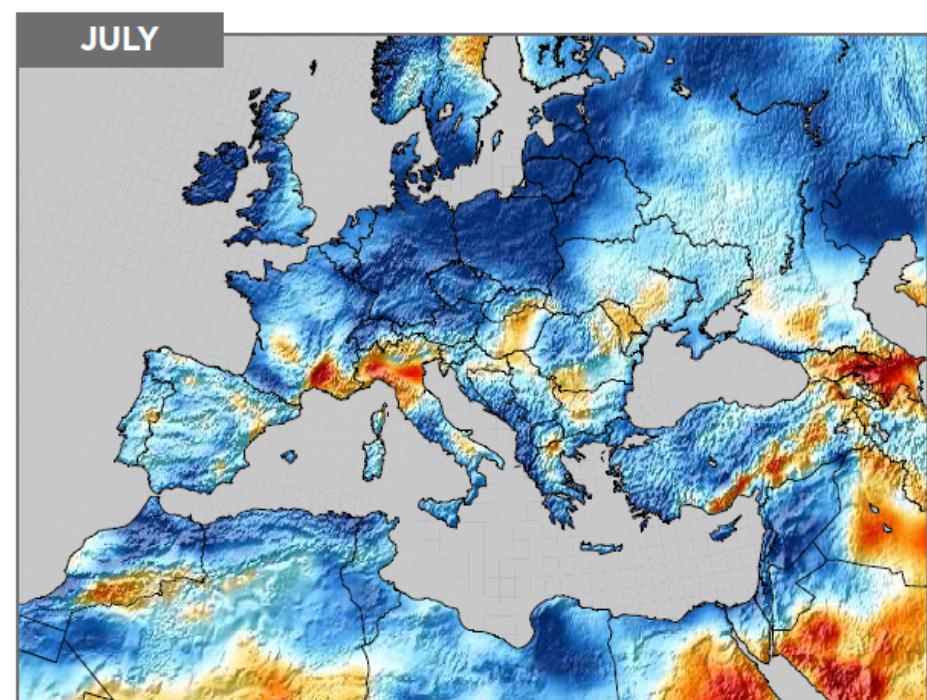
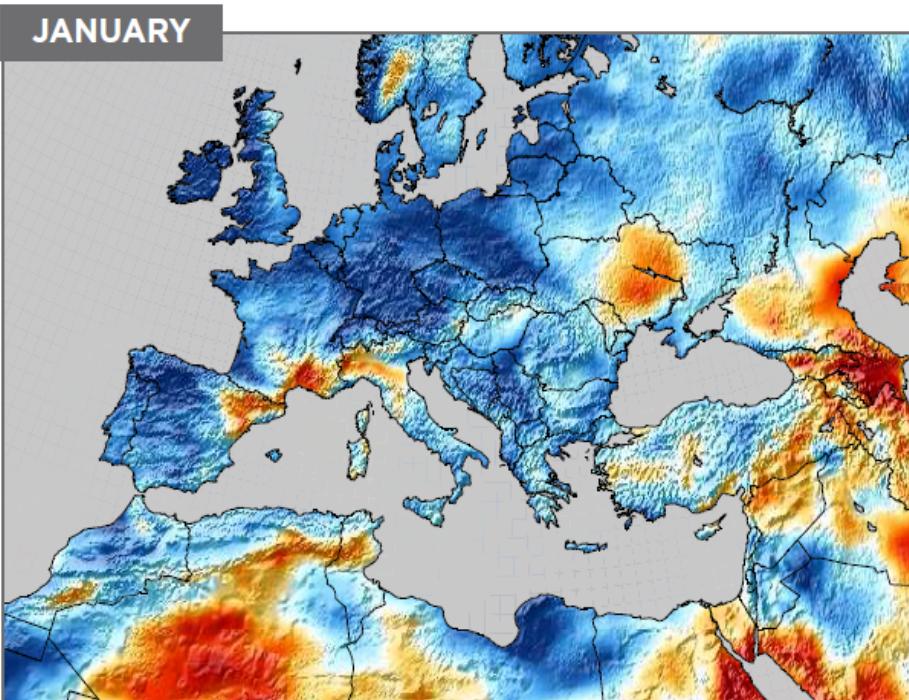
熱波の影響図(3)

風力と太陽光との相関関係図(アノーマル)

青は逆相関

オレンジ系は順相関

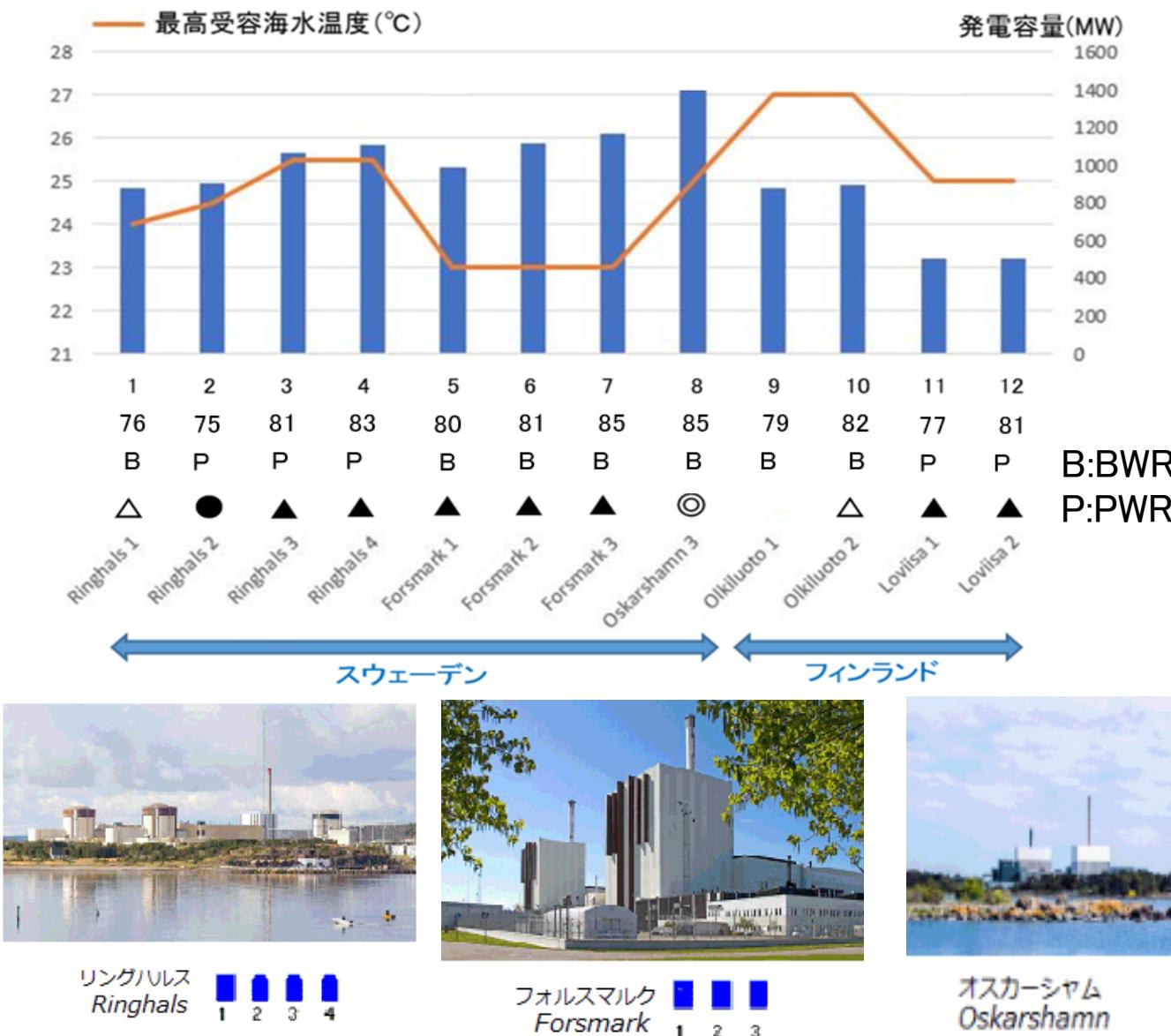
白系はほぼ無相関



Correlation of Wind/Solar resource anomalies

2018年熱波の影響:ノルデックの原発シャットダウンなど

図 ノルディックの原子力発電所と冷却のための最高受容海水温度



炉の型(PWR/BWR)と新旧の違い
により水温への対応が異なる



オルキルオト原子力発電所



ロヴィーサ原子力発電所

注) 2018年熱波時の
対応: 2桁数字は運用
開始年。: ◎運転、●
シャットダウン、▲生
産抑制、△オフライン、
空白: 不明。

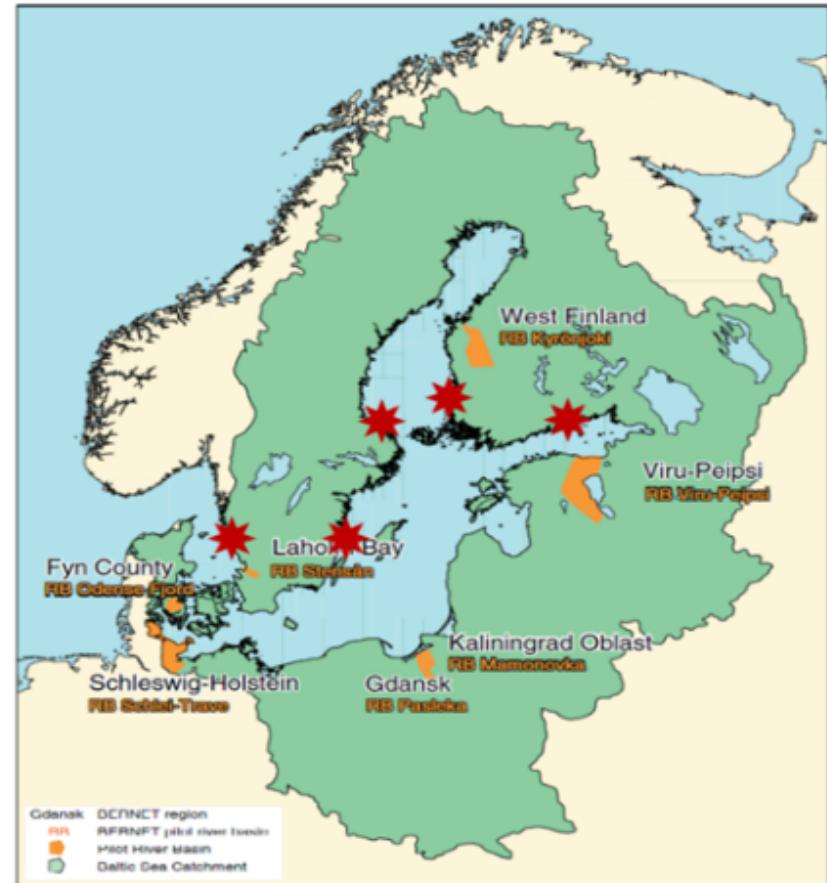
資料:OSLO (Reuters), In hot water: How summer heat has hit Nordic nuclear plants, 2018を仮訳、筆者図に加筆。

2018年熱波の影響：ノルデックの原発シャットダウンなど

図 バルト海に臨界立地するノルディックの原発
—外洋に比較して内海は熱が拡散しにくい—



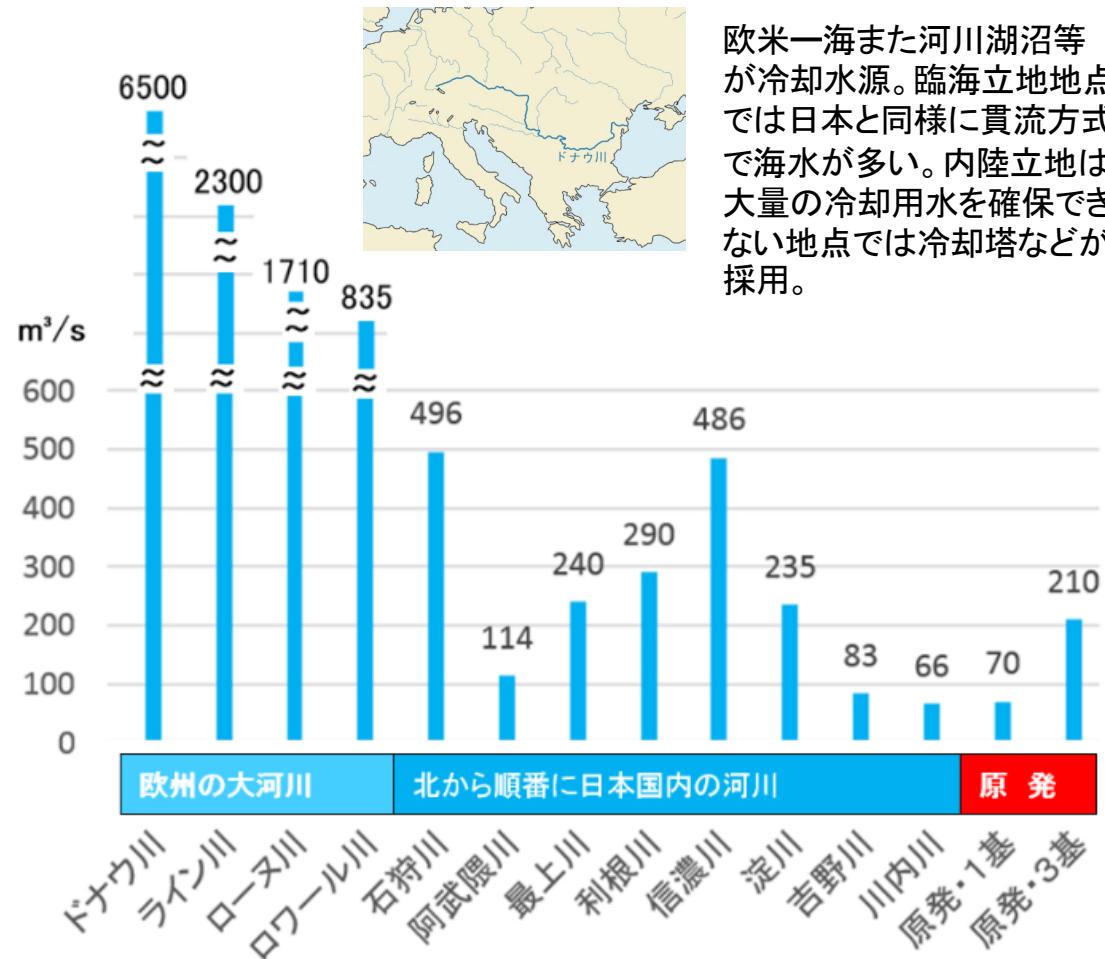
図 バルト海の流域範囲(淡緑)
—渴水による流量減と高まるバルト海の熱ストレス—



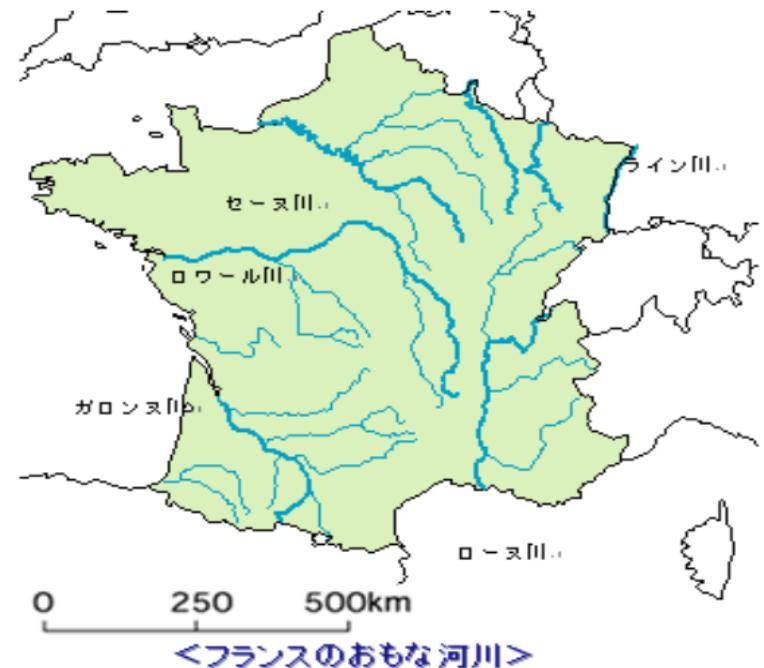
資料(上):Regional Implementation of the EU WFD(Water Framework Directive) in the Baltic Sea Catchment.

資料(左):Anthony Tsodikov, Nuclear Power in Sweden, May 24, 2016但し仮訳などは筆者。

図 日本の火力等の取水量と河川流量との比較



欧米一海また河川湖沼等が冷却水源。臨海立地地点では日本と同様に貫流方式で海水が多い。内陸立地は大量の冷却用水を確保できない地点では冷却塔などが採用。



日本: 2010年当時の海水取水量

- ①原発: 4900万KW
- ②火力発電(ガスタービン除く)
 - ・石炭火発: 3500万kw
 - ・石油火発: 4500万kw 計 8000万KW
- ③以上より合計水量 **6630トン/s**
 - ・一日当たり5億7300万t/日
 - ・一日当たり東京ドーム462杯分/日

※日本の取排水温度差7°C

※温度上昇と海水中溶存CO2量

※日本の主要40河川計 = **5637トン/s**

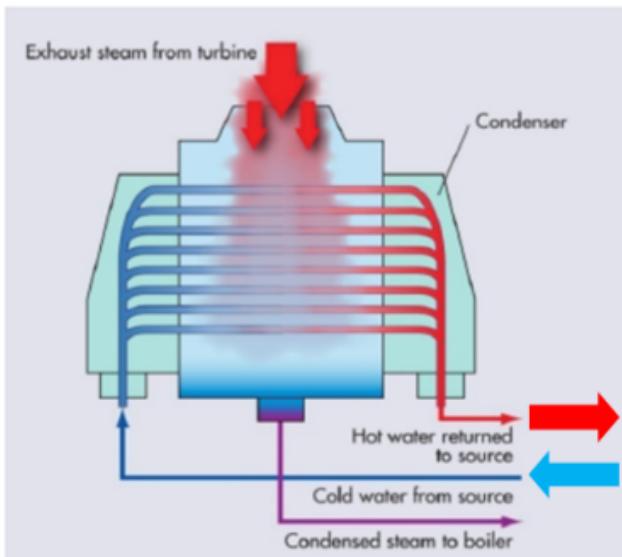
資料: 日本河川は国土交通省、「流量年表」、「河川管理統計」などの年平均流量、欧州は、Wikipediaなどの数値より筆者作成(2018.12)

概算の仮定: 原発100万KW使用水量70トン/s、火力発電100万KW使用水量40トン/s。 $(4900/100) \times 70\text{t/s} + (8000/100) \times 40\text{t/s} = 49 \cdot 70 + 80 \cdot 40 = 3430 + 3200 = 6630\text{t/s}$ 東京ドーム(124万t)

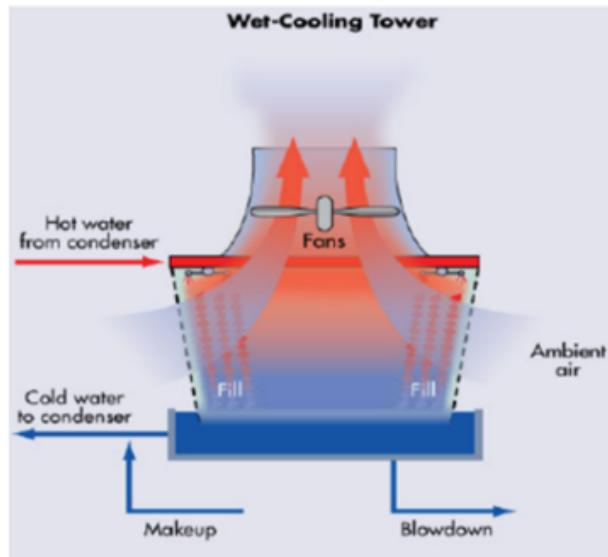
・温排水は火力・原子力発電所、鉄鋼業、化学工業、石油工業などからである。

図 典型的な水冷却方式の構造

(1) Once-through cooling



(2) Recirculating cooling

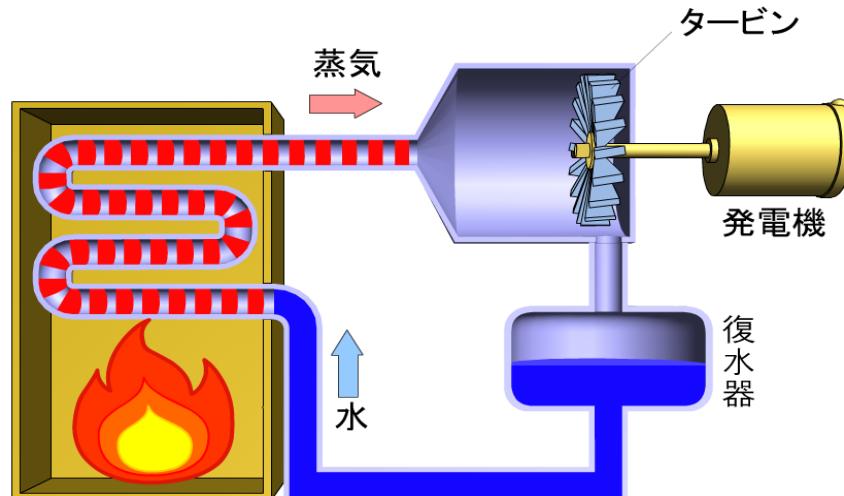
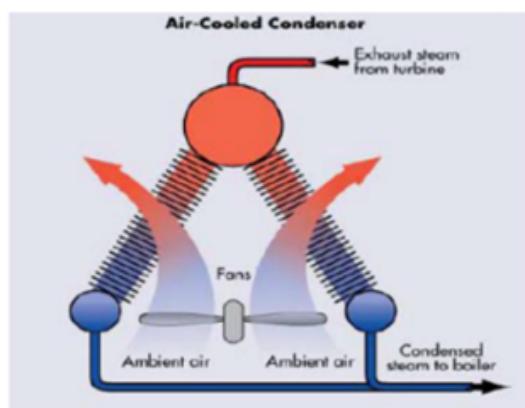


冷却塔から水蒸気:
インドのダドリ火力発電所



欧米は海、河川湖沼等が冷却水源。
臨海立地地点では日本と同様に貫流方式で海水が多い。内陸立地は大量の冷却用水を確保できない地点では冷却塔(CT)等。冷却塔内は空洞で底部に熱交換器がある。高温水蒸気は空気冷却され、温まった空気は上空に抜ける。塔内部は上昇気流によって絶えず新しい冷気を底部から供給さ。経済的な冷却方式だが高温多湿の日本では不利。

(3) Dry cooling



ボイラー

資料:電気事業連合会

資料: Electric Power Research Institute 2007 より。

表 発電技術における水冷却方式

冷却システム	基本的な構造
(1)Once-through	最も簡単な冷却方法。一方向方式。 大量の水を回収するが、そのほとんどは熱交換器を通過した後に河川などの水域に戻される。少量の水しか蒸発によって失われない。水域に戻された温水は、生態系に損害を与える可能性がある。
(2)Recirculating (Wet方式)	これには冷却塔方式と池(ポンド)方式の両方がある。 <u>Wet</u> 方式とも言われる。冷却塔が最も一般的である。このプロセスは、水から空気に熱を交換することによって水を冷却する。いくらかの水は蒸発によって失われ、残りの水は発電所の蒸気凝縮器(コンデンサー)で再利用される。このシステムは、上記の環流システムよりもはるかに取水は少なく、約85%を回収・再使用する。
(3)Dry Cooling	水の代わりに空気を使用して発電所の蒸気を冷却する。この乾式(ドライ)冷却を使用すると、水の消費を最大90%削減できる。その分、環境への影響は非常に少ないが、空気は冷却時に水と同じくらい効率的ではないため、廃熱を環境中に放出するためより多くの表面積が必要となる。従って、湿式冷却((1)と(2))よりも2~4倍高価である(世界銀行、2013)。また、乾式冷却はプラントの効率が低下する。水不足が問題となる地域では一般的にこのシステムが使用される。
(4)Hybrid	これは、乾式冷却システムと湿式冷却システムの組み合わせ。

資料: International Energy Agency (IEA), 2012, World Energy Outlook 2012.などより筆者仮訳, 作表(2018)

表 水冷却方式のトレード・オフ

方式	長所	短所
(1)Once-through	-水消費が小さい -成熟した技術 -資本コストが小さい	-大きい取水量 -環境への負の影響 -熱排出システムへの暴露
(2)Recirculating (Wet方式)	-上記より少ない取水量 -成熟技術	-上記方式より高い水消費 -より小さい生態系への負の影響 -より高価な資本費用
(3)Dry Cooling	-ゼロか最小の取水量、消費量	-上記2方式より高い施設整備費用 -低いプラント効率 -大規模な土地面積が必要
(4)Hybrid	-Dry Cooling よりも低い資本コスト -Recirculating より水消費量が少ない -フレキシブルな運用操作可能	

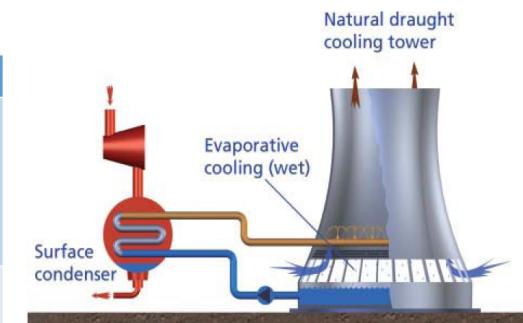


Fig. Wet cooling tower [GEA Aircooled Systems (Pty) Ltd]



Air-cooled heat exchangers (dry)

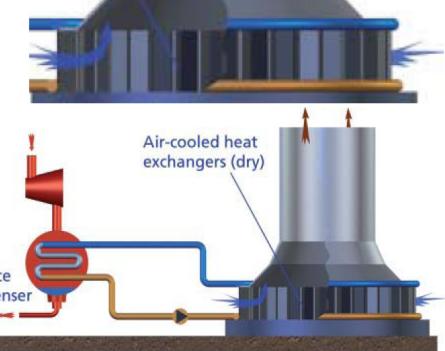
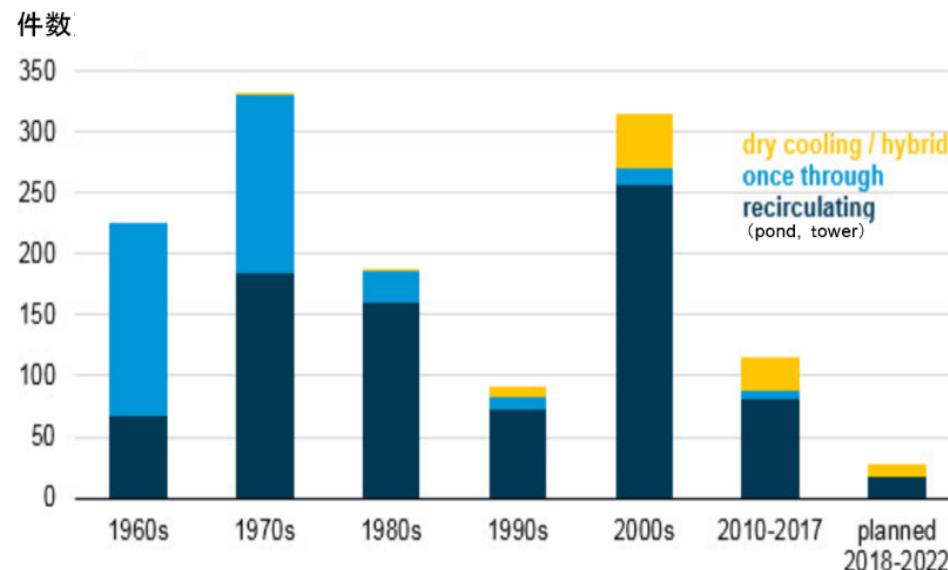


Fig. Natural draft dry cooling [GEA Aircooled Systems]

資料: Mielke, E., et al., 2010, "Water Consumption of Energy Resource Extraction, Processing and Conversion", Belfer Center for International Affairs, Harvard Kennedy School of government. Cambridge, United States. などより筆者仮訳, 作表(2018)¹⁴

図 米国の運用開始年と発電用冷却システム(件数)

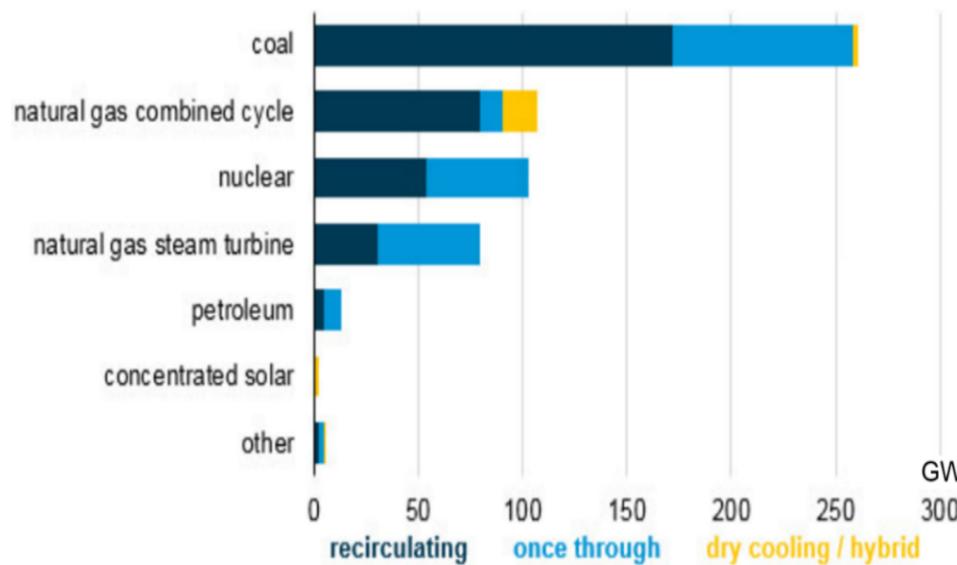


米国:1960年代以降多い
recirculating(Wet)方式

注) Other includes petroleum combustion turbines as well as renewable sources such as biomass and wood derived fuels. In 2011, EIA began collecting cooling system data from nuclear plants for 2010.

資料: U.S. Energy Information Administration, Form [EIA-860](#), Annual Electric Generator Report.

図 米国のエネルギー別の冷却システムの種類(2017, GW)



ドライ方式は依然として少なく、
once-through(貫流)方式も多い

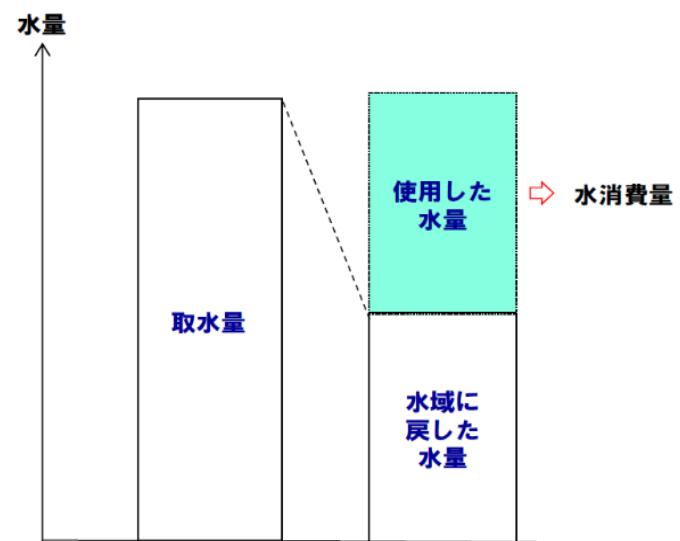
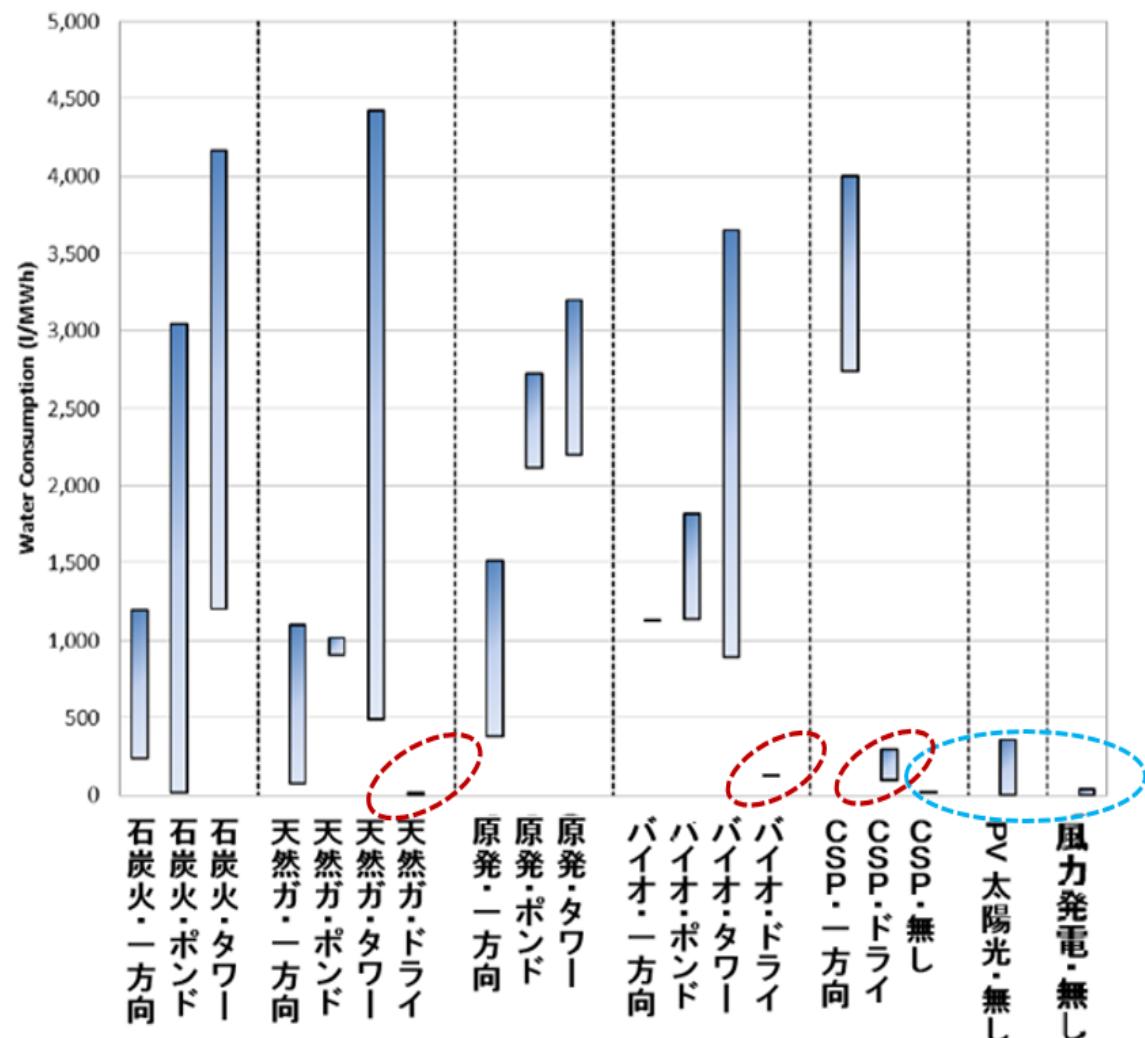
注1) Other includes petroleum combustion turbines as well as renewable sources such as biomass and wood-derived fuels. In 2011, EIA began collecting cooling system data from nuclear plants for 2010.

注2) recirculating(pond(池), tower(冷却塔)が含まれる。

資料: U.S. Energy Information Administration, Form [EIA-860](#), Annual Electric Generator Report.

図 発電技術別の水消費量(レンジ、リットル/MWh)

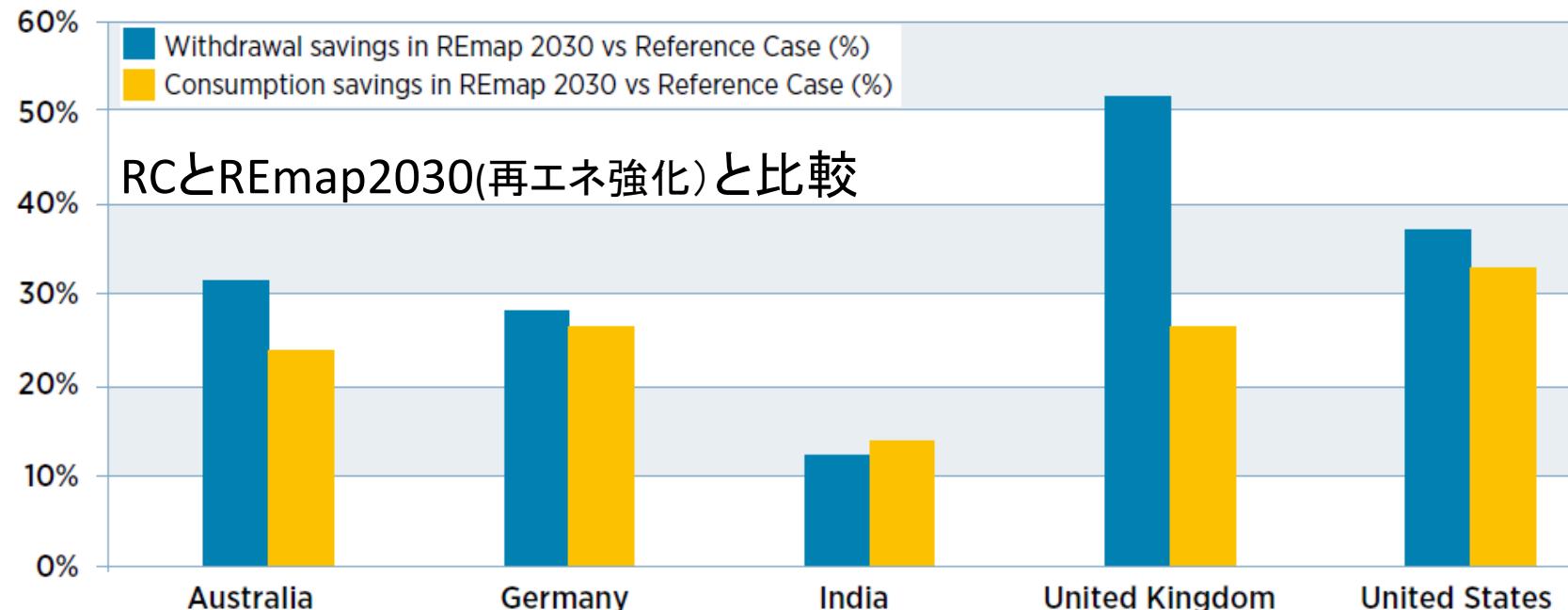
—高額なDry Cooling方式と無し(設備不要)のPV太陽光と風力発電—



注1)無しは、冷却システムが無いことを示す。図中の楕円は筆者が加筆。

注2)PVと風力の取水と消費水量はライフサイクルの量である。これには、発電機調達、建設、燃料採掘、輸送、リサイクルを含む。ライフサイクル数値は、Meldrum et al.の論文による。

節水ソリューション



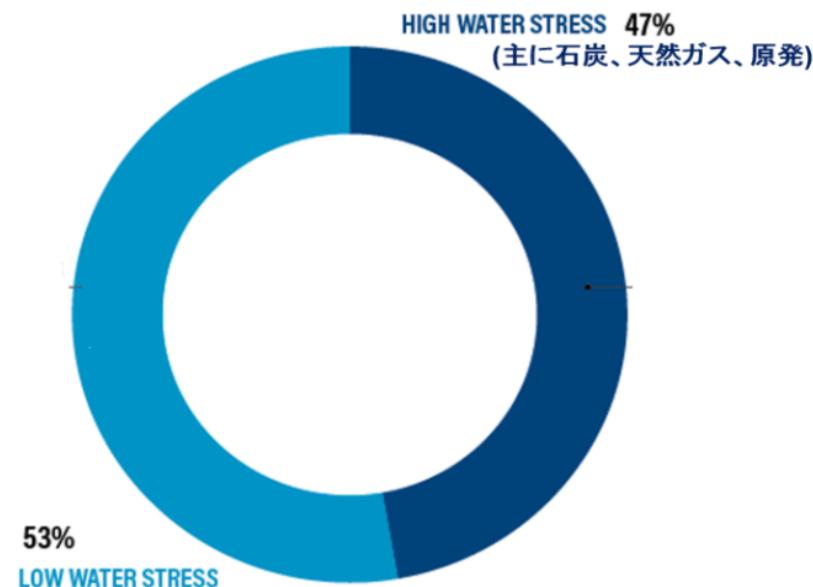
過去の回避水量調査

- AWEA: 2013年の米国の風力は、米国の32万世帯・年に相当する1.3億トンの回避
- EWEA: 2012年の欧州の風力は、欧州の300万世帯・年に相当する3.9億トンの回避

Roadmap 2050 (EU)		
2030 年値	風力	807 TWh～1198TWh 12.2億t～15.7億t

資料:EWEA, Saving water with wind energy, 2014

図 世界の火力発電の47%は、水ストレスが大きい地域に存在



資料:WRI Aqueduct Water Risk Atlas, WRI Global Power Plant Database, Global Coal Plant Tracker, Powered by RESOURCEWATCH

■アジアの2大新興国:中国とインドは水源の枯渇のリスク。比較的コストの低い電源として、大量の水を必要とする石炭火力発電所の新設が背景。

■米国の発電能力の2倍強

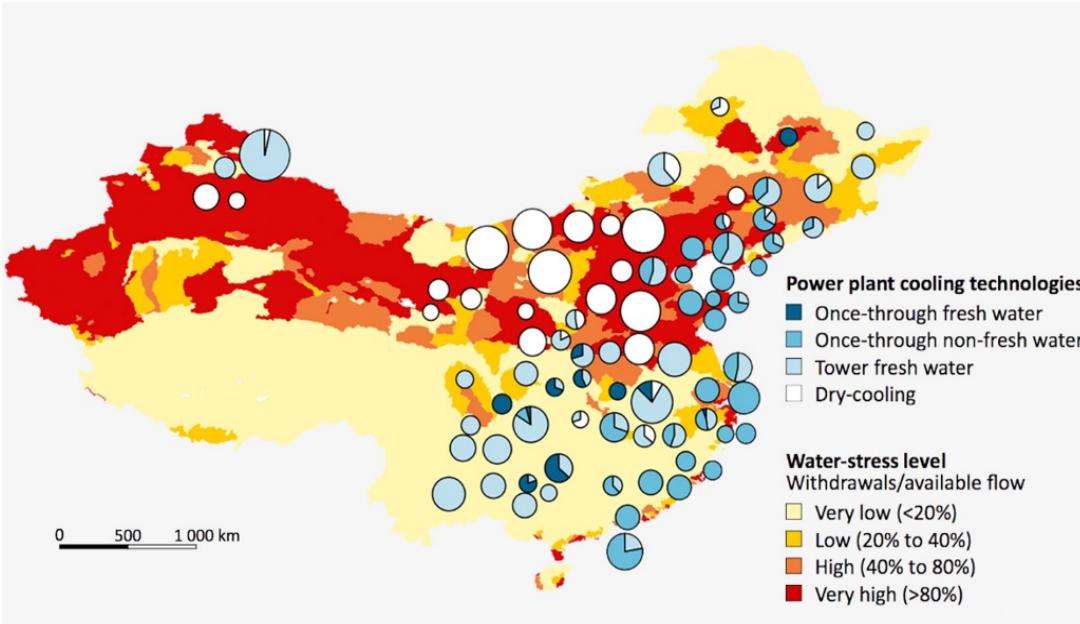
IEAは、中国とインドは20年間で総額7200億ドル(約56兆2100億円)に上る石炭火力発電所の建設を計画。その発電能力の合計は米国における現在の総発電能力の2倍強だ。中国が石炭火力発電所のタービンから水蒸気化する水量は毎年ナイアガラの滝の水量に匹敵。インドでは工業用水の需要が農業用水や都市水道の2倍のペース。

■中国では取水によって内モンゴルの草原の砂漠化が進み印度では灌漑用水を奪われるとして農民による抗議自殺も発生。両国は、産業界と農民、都市の対立を避けるためエネルギー事業の再検討。

■印度・オリッサにおいて増加する工業用水に農民約3万人の抗議。政府は解決策として大規模発電事業者に冷却水は海水利用を

■台湾、2015年、水不足による電源不足の危機。エネルギー局は水力発電が使用できないだけでなく、冷却水の不足から火力発電の効率低下を指摘。

2040年の中国 – 深刻な水ストレス



資料: Caroline Lee, The energy sector is feeling the heat, IEA

- 水不足の増大が考慮される中で、IEAの「**新政策シナリオ**」は、Dry方式の石炭火力発電所の容量は2014年から2040年に2.5倍の増加のシナリオを示している。
- Dry方式は水をほとんど使用しないが、他方式と比較して、より高いコストと効率性が低くなる傾向にある。
- 気候変動による水パターンの変動
IEAはClimate-Energy Security Nexusの議論を進めている。

- ❶中国の5大電力会社は、石炭火力を500GW有し北東部に集中し、水供給が途絶するリスクを孕。
- ❷5大電力の開発のこのままの進展は、2030年取水量目標(7000億制限)を25%超過する。

- ❸五大電力の水不足対策には、投資選択がある。冷却技術の密閉サイクル、冷却塔方式は貫流方式より取水量は相当少なく、新規案件の3分の1に採用されているが、Dry方式は熱効率が悪くなり、温室効果ガスが増大する。
- ❹既存の貫流方式から置換には、100GW以上が影響を受け、200億USDが必要。
- ❺火力発電は更なる水の高効率の技術導入をすべきであるが、コストアップになる。
水不足は今後も風力、太陽光の導入の余地を開く。
- ❻中国の五大電力は**水リスクが深刻化**しているが、国際的に広がっている問題だ。
- ❼国家能源局は、広東など13省に2016年～2020年に104ヶ所の石炭火力の停止か、建設延期を要求。

図 2010年以降、中止・遅延された石炭火力



資料: CoalSwarm

503372

173075

74%

中止・遅延

実現 中止

中止・遅延火力

インドは実現施設量の約3倍の施設が中止
(約5億KW)

石炭火力の実現率

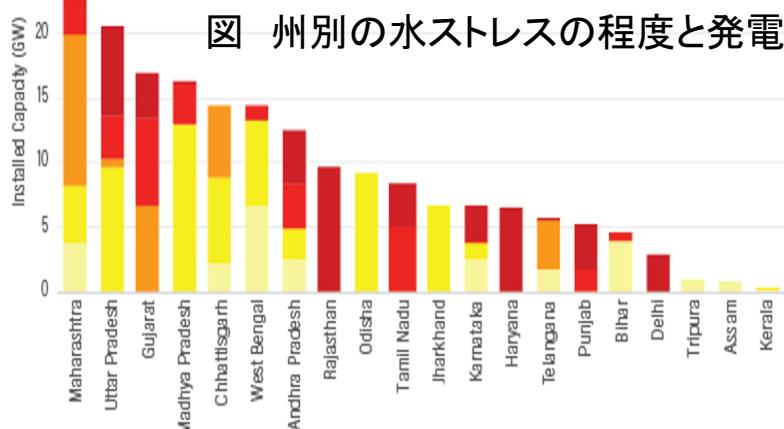
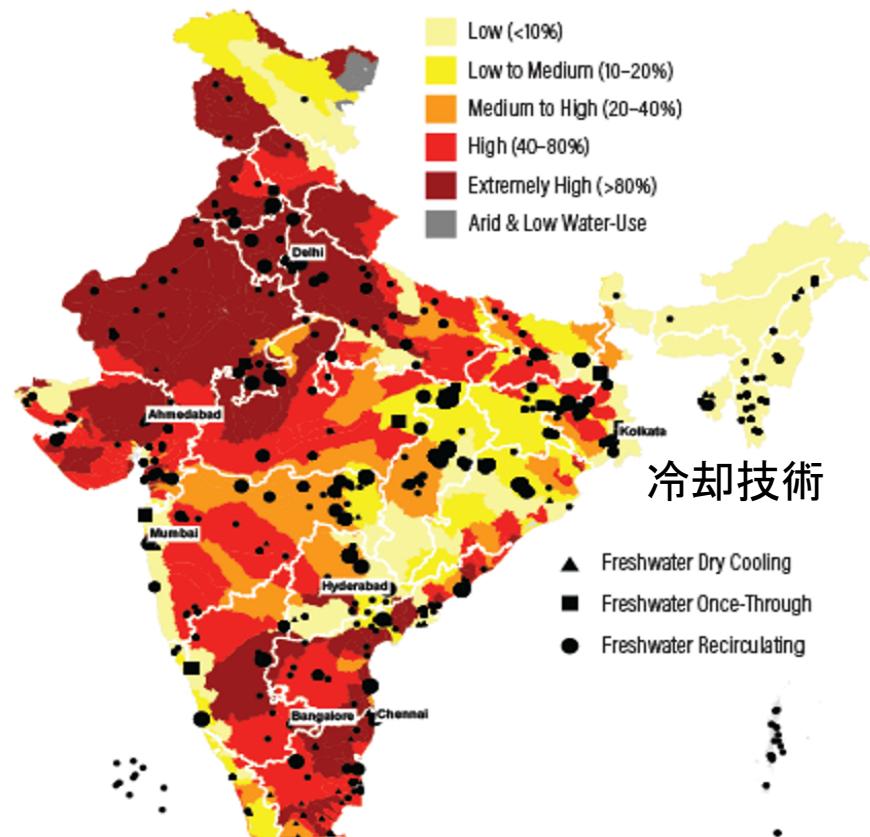
	MW		%	
	実現	中止	実現	中止
中国	521,014	644,794	45%	55%
インド	173,075	503,372	26%	74%
その他の国々	182,756	365,407	33%	67%
合計	876,845	1,513,573	37%	63%

注)実現には建設中のものと建設が終了したものを含む。中止には計画がキャンセルになったものと延期を含む。

資料中国とインドにおける石炭活況の終焉?, Boom and Bust 2017, P8

火力発電のインド・中国の中止激増、インドは環境破壊の理由や灌漑用水の枯渇や水質汚染の農業や漁業への悪影響

インドの深刻な水ストレス 熱波



- ①火力発電(石炭、ガス、原子力)は、総発電量の83%を供給。
- ②2011～2016の5年間: 1)火力発電40%増、2)淡水消費量43%増
- ③インドの火力発電の40%は、非常に高い水ストレス地域にある。冷却水を使用。
- ④水の希少性は、火力発電に被害を与えてる。20の巨大な発電所の内の14カ所は、2013年～2016年に1回は水不足でシャットダウンしている。被害総額は、14億USDに達する。
- ⑤政府が対策をとらなければ、2030年には、気候変動と他の産業との水需要増加によって、全火力発電の70%が、非常に高い水ストレスに直面する。

図 水不足 → 4年間に失った発電量

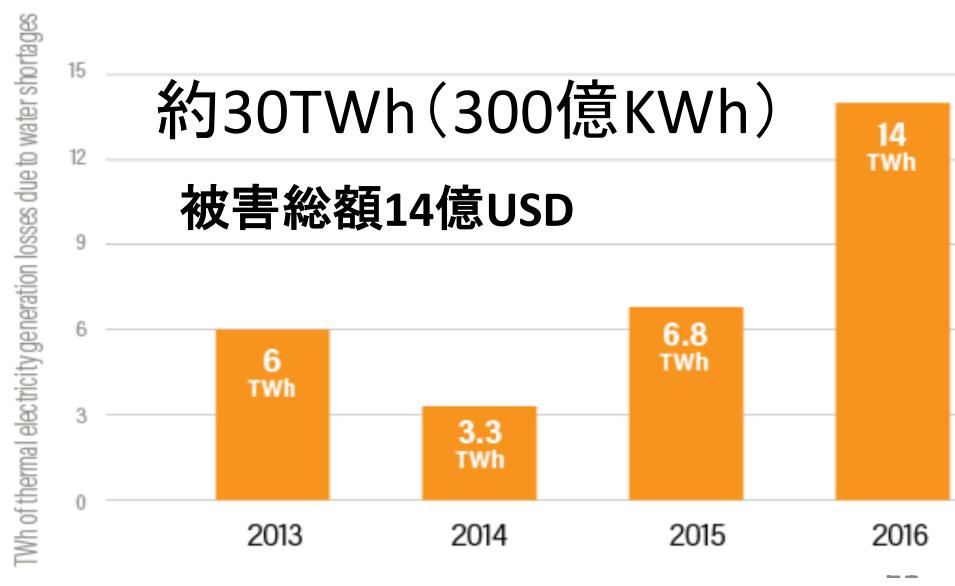
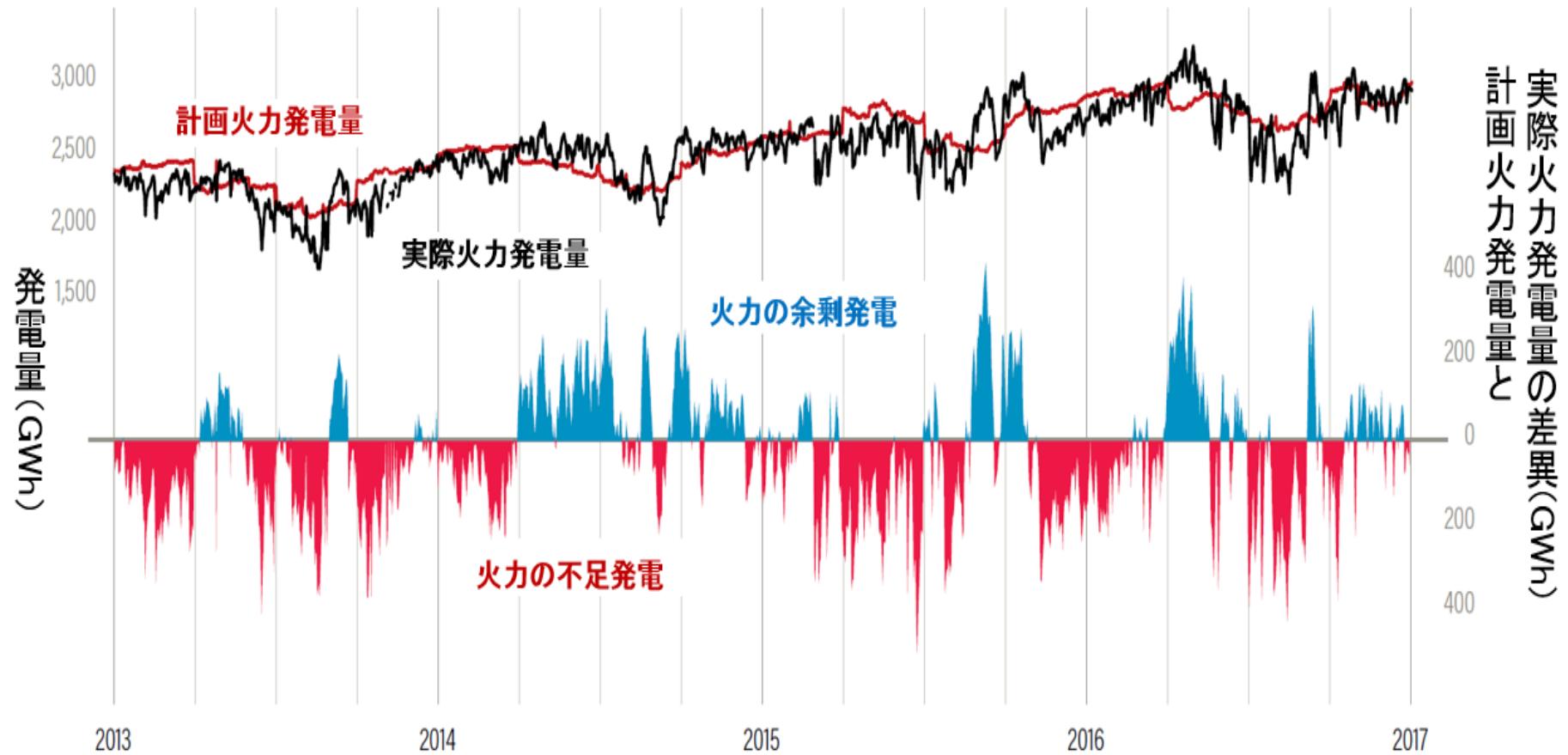


図 最近のインドの火力発電状況 — 61%(時間ベース)の計画外の不具合
— 水不足によるシャットダウン・カーティルメント —



資料:WRI(Working Paper)、Parched Power: Water Demands, Risks, and Opportunities for India's Power Sector,2018

■ インド: 2022年までに再エネ1億7,500万kW

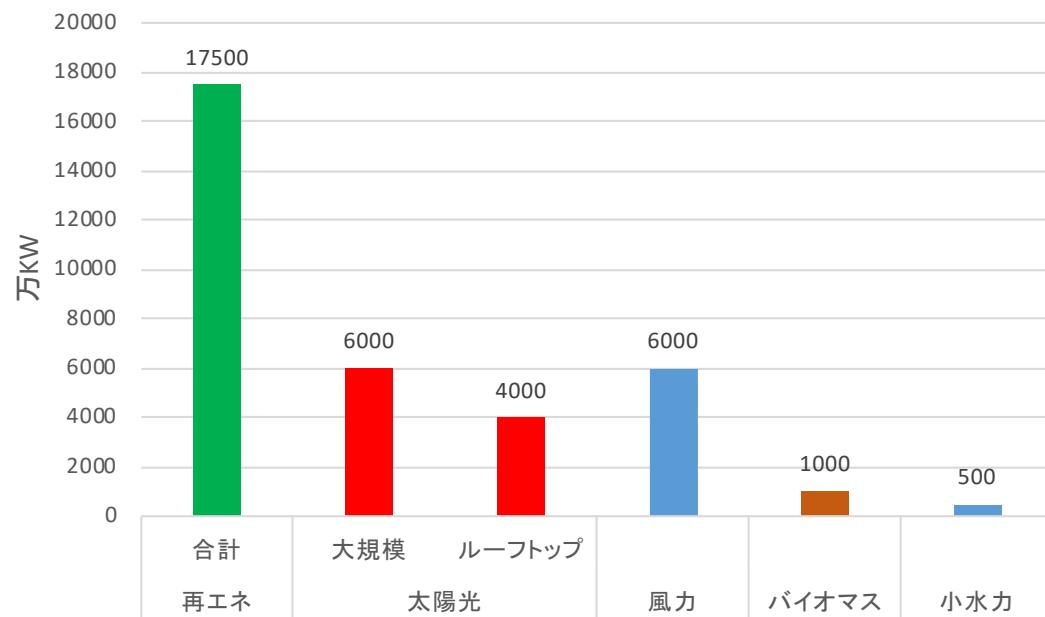
		設備容量(kW)			備考	
1	太陽光	大規模	6000 万 kW	計 1億 kW	大規模の競争入札: 約 4 円(2017 年)に低下。	
		ルーフトップ	4000 万 kW			
2	風力	6000 万 kW			2017 年～入札	
3	バイオマス	1000 万 kW				
4	小水力	500 万 kW				
計	再エネ	1億 7500 万 kW				

「インド40/60再生可能エネルギー開発計画」

インド政府はパリ条約に関連して、2030年までに少なくとも発電量の非化石燃料由来を40%とコミット。これには、2022年までの再エネ1億7,500万kWを含む。(MOEFCC)

資料: インド政府関係省、MOEFCC、CEAなどの資料より作成。

インドの再生可能エネルギー計画(～2022年)



■火力発電の水冷却：新基準の設定

インド政府は火力発電の水不足の経済的影响に大きな関心(2015年12月7日)。

新基準(2015)や計画が、順調に進展するならば10年以内に淡水の取水量と水消費量を改善する。

表 インド(MOEFCC)の火力発電の取水量原単位の新基準

	取水量原単位の新基準	運用時における取水量原単位
1	全貫流式(once-through cooling)の火力発電は冷却塔(CT)に置き換え、2年以内に取水量原単位を 3.5m3/MWh を達成すること。	・火力発電の全国平均は約16.0m3/MWh。
2	全ての既存のCT方式火力発電は、2年以内に取水量原単位を最大 3.5m3/MWh にすること。	・風力タービンは0.0m3/MWh ・太陽光発電は0.08m3/ MWh (パネル清掃など)
3	2017年1月以降の新しい火力発電所は取水量原単位を 2.5m3/MWh にすること。ゼロ排水を達成すること。	※左の3番目の基準は2017年10月に3.0 m3/MWhに緩和

注)MOEFCC:Ministry of Environment, Forest and Climate Change

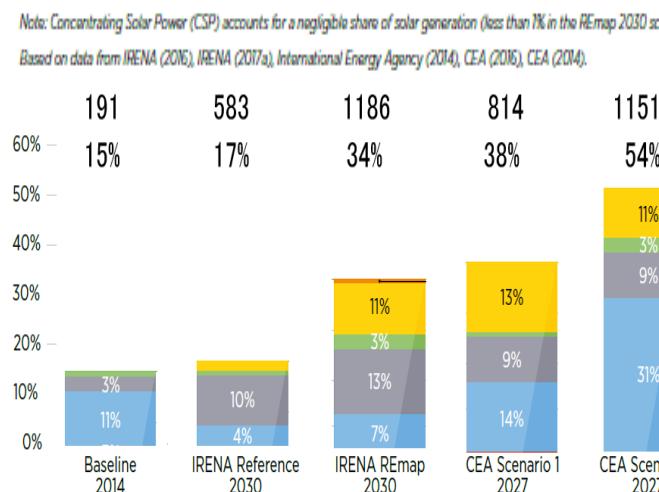
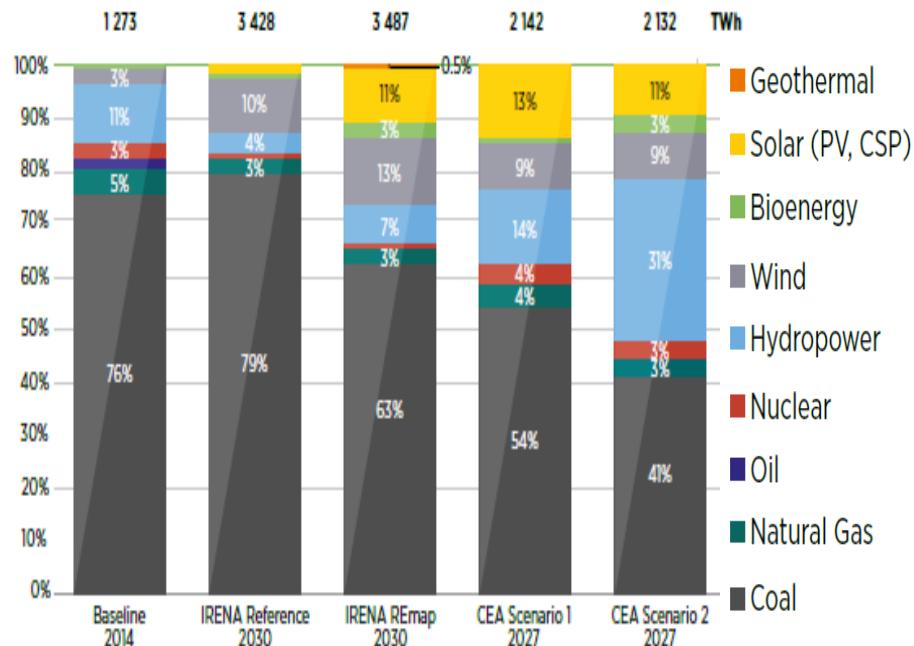
■取水量原単位(現況)

火力:**16m³/MWh** — 太陽光に比較して200倍

太陽光**PV0.08 /MWh**、 風力**0.0 /MWh**

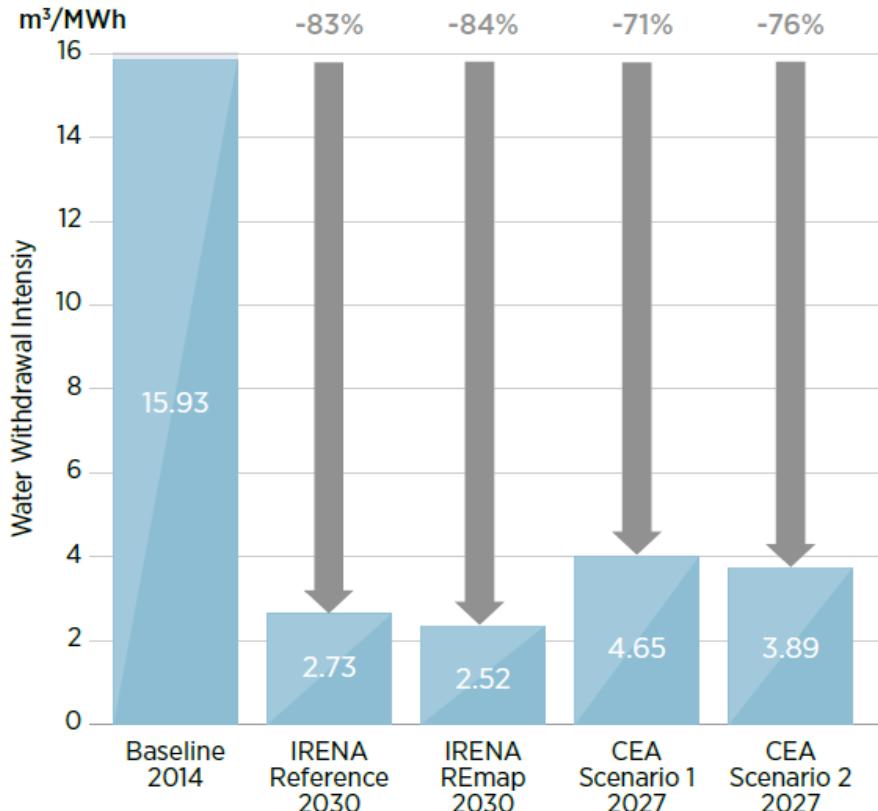
インド 火力と再生可能エネルギー

IRENAとCEAによる4シナリオ

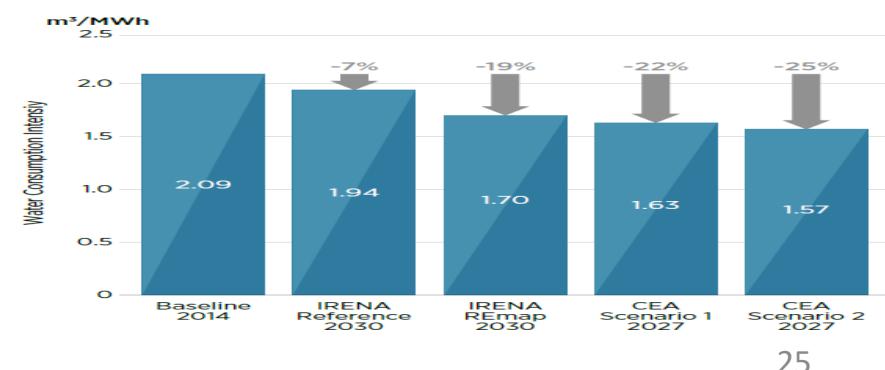


再掲

15.93t/MWh → 最大84%の削減

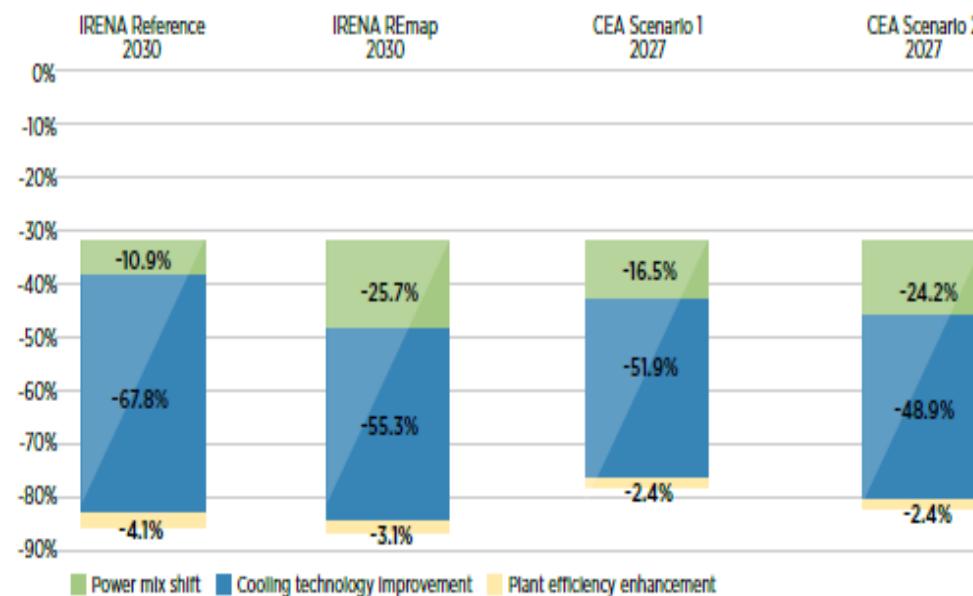


2.09t/MWh → 最大25%の削減



インド: 4シナリオー取水原単位と水消費原単位の改善要因効果

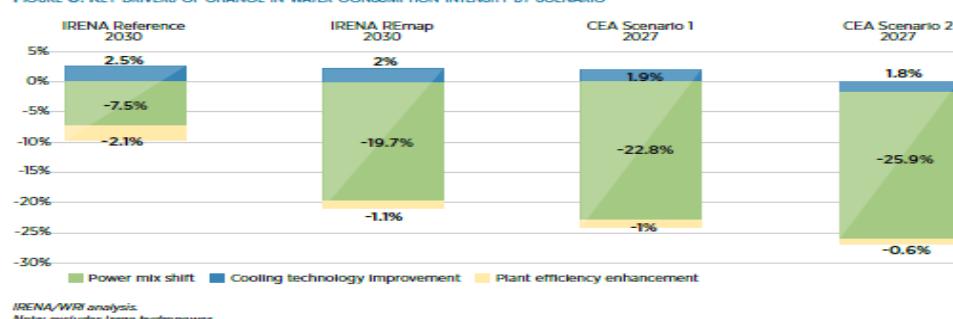
FIGURE 4. KEY DRIVERS OF CHANGE IN WATER WITHDRAWAL INTENSITY BY SCENARIO



■取水原単位の改善効果

電力ミックスのシフト (-10.9~ -25.7%)
 水冷却技術の改善 (-48.9~ -67.8%)
 プラント効率の向上 (-2.4~ -4.1%)
 ※貫流方式 → 再循環方式

FIGURE 5. KEY DRIVERS OF CHANGE IN WATER CONSUMPTION INTENSITY BY SCENARIO



■水消費原単位の改善効果

電力ミックスのシフト (-7.5%~ -25.9)
水冷却技術の改善 (+1.8%~ +2.5%)
 プラント効率の向上 (-0.6%~ -2.1%)

インドの4シナリオの取水量・水消費量

●インドのエネルギー需要は、2014年と比較してIRENAはほぼ3倍。CEAは2倍程度。改善冷却技術による原単位の削減と、水節約に寄与する太陽光発電、風力の高い導入量が、全てのシナリオにおいて水削減となる。

※運用時取水量: PV(0.08t/MKWh、洗浄)、風力(0.0t/MKWh)、火力(16.0/MKWh、PVの200倍)

■取水量 — 貫流方式が主流だが、置換による原単位が大削減

2014年(180億t)と比較して全てのシナリオで取水量が減少。IRENA Reference2030は、淡水取水量が半減。貫流方式から置換し90億tの淡水取水量の削減。IRENA Referenceと比較すると風力・太陽光による取水量の節約はREmapの下では8億1300万t減少。2014年と比較して取水量はCEA-S1で95億t減少。CEA-S2で120億t超減少。

■水消費量

2014年と比較して、CEA-S2を除く3シナリオで増加。CEA-S2は、2030年に2倍の発電量になるが水消費量は5200万t削減する。この削減の主要要因は再エネの増加と石炭火力の削減である。一方、CEA-S1は2027年に6億2千万t超増加の水消費量である。IRENAのシナリオは2014年と比較してReference2030は40億t増、REmap2030は30億t超に増加。水消費量の原単位改善は技術的に難しく、取水量原単位削減(-71~-83%)と比較してかなり小さく(-7%~-25%)、CEA-S2(原単位削減-25%)のみが、水消費量の削減となつた。再循環タワー方式は貫流方式より水消費原単位の改善は厳しい。

※CO₂排出量: 電力ミックスの化石燃料率は、シミュレーションケース順に79%, 63%, 54%, 41%。2014年と比較して、+10億t、+8億4千万t増加。S1は3千万t、S2は2億7千万t削減。

"Generating power with solar PV and wind can achieve not only carbon emissions but also near-zero water consumption." (WRI,2018)

インド: 太陽光「灌漑」ポンプ

パンジャーブ州は、年間300日の晴天、1日8時間の日照量の太陽光と点滴灌漑の灌漑システムで生産効率の向上。太陽光発電を導入する農家に財政支援(安価な機器供給)。(8000haの土地を対象)

インドの灌漑ポンプ(現況)

型式	台数(万)
電力(on grid)	2100
ディーゼル	880
太陽光	13
合計	2993万台

資料: IEEFA.org



■インドの野心的な再エネ計画: 「克水性の大きい再エネの優先化」 … 「CEA-S2」

政府の「CEA-シナリオ2」は、発電部門(水力を除く)の取水量原単位-76%削減シナリオ。その1/3は太陽光PVと風力の導入。また水消費量原単位は電力ミックスによって-25%を削減シナリオ。

■革新的な冷却技術の導入、太陽光PV・風力 → ①取水量・水消費量の依存度を少なくし、

②発電部門の持続可能な成長、③国レベルの生態系の保全にも寄与。

再エネの推進は「水の接近可能性」、手頃な水価格や安全性の改善、水の安全保障を強化。

■インドの灌漑分野「太陽光発電灌漑ポンプの2600万基転換計画」

・仮に500万基の転換 ①燃料の心配不要、②Off-grid、③化石燃料依存の減少、④地域環境悪化の緩和等

化石燃料使用から農産品サプライチェーンのデカップリングができる

インド: 500万基のディーゼル型 → 太陽光灌漑ポンプに(試算)

・18.7(GW)設備容量相当が立地 → 23.3TWh相当の火力発電施設に匹敵

・ディーゼル燃料が不要 → 重油 100億リットル節約

・CO2排出削減 → 2600万削減

※Off-grid 地域の歓迎

まとめ

1. 適応政策の強靭化

「パリ協定」の”適応“には、「気候変動への適応能力の向上、気候変動に対する強靭性の強化、脆弱性の減少に関する”**適応の世界目標**“を定める」とある。そもそも気候変動は、エネルギー由来のCO₂等に起因し、巡り巡って火力発電はシャットダウン、カーテイルメントを受けてきている。これに対応する適応政策の強靭化は喫緊の課題である。

2. 対応 ランキンサイクル型発電 — 長期的には先細り

熱波によって、「火力発電プラントの近辺の大気の温度が1°C上昇で発電量が0.15～0.5%下落する」(米国論文)とされる。熱波の規模次第であるが、火力発電施設が過熱し、シャットダウン、生産抑制しがちである。これには、第一に冷却技術の改善(例えば貫流から再循環方式等)がある。インド政府が新基準を策定したように取水量原単位・水消費原単位を小さくすることである。第二には、発電機の交換、熱伝導コーティング等による改善があるが、効果は限定的である。

3. 対応 ランキンサイクル型発電から再エネシフトへ — 節水ソリューション

再エネの本格的な導入による電力ミックスのシフトである。再エネ、特に太陽光・風力発電は、**熱エネルギー**で蒸気を作りタービンを回転しないことから”**near-zero water consumption**” (WRI,2018)といわれる。克水性が大きく冷却不要なことから熱波に強く、回避水量の増大や炭素排出削減などの利点がある。但し、最近の熱波による太陽光・風力の「熱波の影響図」に注意を要する。ノーマル(約40年平均)と比較して月別に20%超の差異、順逆の相関が生じている。精査を行い如何なる対応が必要かの検討が求められる。

4. エネルギー分野における水使用に関して、透明性が必要である。世界中の火力発電施設は冷却のために大量の水を利用しているが、世界の発電設備容量の41%が冷却データについて未整備である。政策の意志決定に情報ギャップが壁となっている。ライフサイクル全体の水関係データのモニタリング、統計等を大幅に改善すべきである。
5. 日本の超長期予測によると無降水日が増加し渴水が指摘される中、日本の火力発電は大量の海水を取・排水し、廃熱を続けている。改めて、再確認が望まれる。
6. 渴水と発電に係る水とエネルギーは、将来の人口増加、経済発展のキヤップでもある。回避水量や水を所与とするのではなく、水保全となる植林等の水資源の涵養を通じて究極的にはエネルギー安全保障に係る。両者の相互横断的な政策の統合化が求められる。
7. 海洋立国を目指す日本は海洋エネルギーの活用は欠かせない。課題はあるが、持続可能な未来のために足下に潜在する再エネ開発を戦略的・計画的に進めることである。
8. 異常気象の影響は、エネルギー・水を超えた「NEXUS(連関)」の意義を鮮明にした。この連関は更に「エネルギー・水・食物・気候変動」に拡張し各国の関心事である。インドの太陽光灌漑ポンピングは卑近例である。今後のSDGsの具体的展開にも期待できる。

最後まで、ご清聴ありがとうございます