

平成 30 年 8 月 10 日 (金)  
国土技術政策総合研究所  
気候変動適応研究本部

水技術政策に関する海外最新情報  
【H30-2 号】

< 定点観測：米英蘭政府機関の動き >

(1) 【米国：海洋大気庁が海面上昇による高潮浸水頻度の予測に関する報告書を公表】

海洋大気庁 (NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration) は、全国一律の潮位閾値を用いて、現在まで及び将来の海面上昇等による高潮浸水への影響を調べた「米国沿岸における高潮洪水のパターンと予測 (Patterns and Projections of High Tide Flooding Along the U.S. Coastline Using a Common Impact Threshold)」を公表した。(2018 年 3 月 19 日)

米国においては、沿岸部の土地利用の特性から、年平均高高潮位を 50cm 程度上回る潮位でも小規模な浸水被害が発生している。1970 年以降、すでに実績で海面水位が上昇しており、浸水頻度は年々増大しているが、今後さらに気候変動等による海面上昇を見込むと、下位の海面上昇シナリオでさえ、2100 年には全米沿岸域で毎日のように小規模な浸水が起こることが予測されている。

<https://oceanservice.noaa.gov/news/mar18/coastal-flood-vulnerability.html>

(記事本文)

[https://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/techrpt86\\_PaP\\_of\\_HTFlooding.pdf](https://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/techrpt86_PaP_of_HTFlooding.pdf)

(報告書本文：5.50MB)

1) 高潮浸水の閾値の評価

米国で高潮浸水は、すでに道路、港、砂浜、公共の上下水道システムのインフラや、商業地、個人所有地に影響を及ぼしている。個々の影響は混乱が生じる程度で実損害としては軽微だが、累積した影響により、国家安全保障上重要であるバージニア州ノーフォーク、カリフォルニア州サンディエゴ、マーシャル諸島のクェゼリン環礁では重大な問題となっている。

海洋大気庁は、地域ごとに潮位計の観測値に基づき「小規模 (minor)：混乱が生じる」、「中規模 (moderate)：損害を与える」、「大規模 (major)：破壊的である」の 3 通りの高潮による浸水の規模を表す閾値を設定し、小規模浸水を予測した場合は「勧告 (advisory)」を、中規模、大規模浸水の場合は「警告 (warning)」を公表している。

しかし、全国の沿岸に設置されている潮位計の半数以下でしか公式な閾値を設定し

ておらず、また設置位置により地形、起伏、土地被覆、水防の有無等によるインフラの脆弱性の評価が異なるため、表1のように、その閾値の値も地域によって様々である。例えば、小規模高潮浸水の発生閾値は、地域によって0.3m~0.6mの幅がある。

表1 地域ごとの高潮浸水規模閾値の設定例

	小規模浸水	中規模浸水	大規模浸水
ニューヨーク周辺	 <p>Westport</p> <p>1~2フィートの浸水</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 浸水深が小さく、資産被害は小さい</li> <li>・ 沿岸部等で道路が浸水する</li> </ul>	 <p>Lindenhurst</p> <p>2~3フィートの浸水</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 沿岸部等で家や商店が数件浸水する</li> <li>・ 標高の低い道路の通行止め 数台の車が浸水し、それによって故障する場合もある</li> </ul>	 <p>New Haven</p> <p>3~5フィート以上の浸水</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 沿岸部では避難が必要</li> <li>・ 多くの沿岸部のコミュニティで被害が発生する</li> <li>・ 家屋や商店が破壊される地域もある</li> <li>・ 多くの車が浸水し流される</li> <li>・ 道路や避難路が通行できない</li> <li>・ 浸水が内陸まで広がる</li> </ul>
バージニア州	 <p>1フィート以下の浸水</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 道路や隣接する資産が浅く浸水</li> <li>・ 小規模な海岸侵食</li> </ul>	 <p>1~2フィートの浸水</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 道路や低い位置の資産が浸水</li> <li>・ 感潮河川や水路づたいに道路や車、資産が浸水</li> <li>・ 海岸や砂州 (dune) の侵食</li> </ul>	 <p>2~3フィート以上の浸水</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 多くの道路が通れなくなり、多くの車が浸水する</li> <li>・ 脆弱性の高い地区では避難が必要</li> <li>・ 浸水が内陸まで広がる</li> <li>・ 実質的な沿岸被害と、甚大な砂州の浸食</li> </ul>

<https://www.weather.gov/images/okx/coastalflood/Coastal%20Flood%20Threshold%20Definitions.png> (ニューヨーク周辺の例)

[https://www.weather.gov/images/akq/hydro/Coastal\\_Flooding/CoastalFloodingThresholds.png](https://www.weather.gov/images/akq/hydro/Coastal_Flooding/CoastalFloodingThresholds.png) (バージニア州の例)

今回公表された調査では、高潮浸水の定量化とリスクの伝達のために、全米で一貫した高潮浸水発生閾値を導き出し、潮位計が設置してある99箇所、約20年以上の毎時データから浸水の再現期間とそのパターンを分析した(図1)。

その結果、公式に発表されている高潮浸水発生閾値は、現地の海洋大気庁の潮位計による、平均高高潮位(MHHW)の複数年平均よりわずかに高い水位(図1よ

り、小規模浸水は+0.5m、中規模浸水は+0.8m、大規模浸水は+1.2m) から発生していることが分かった。統計によって導き出したこの高潮浸水発生時の閾値は、ほぼ米国全土の沿岸で適用できるとしている。また、この結果より、高潮浸水が「希に損害をもたらす氾濫」から「破壊的な氾濫」へ、または、小規模浸水から中規模、大規模浸水へと変化する潮位の差はわずか 0.3~0.7m であると結論づけている。すなわち、図 1 のグラフによれば、米国では毎日の最高潮位（高い方の満潮位）の年平均値である平均高高潮位（MHHW）から、50cm 程度上回る標高から土地利用がなされており、これを越える潮位では「小規模浸水」が発生する。そして、それをさらにわずか 70cm 上回ると、破壊的な「大規模浸水」となる状況にあることになる。

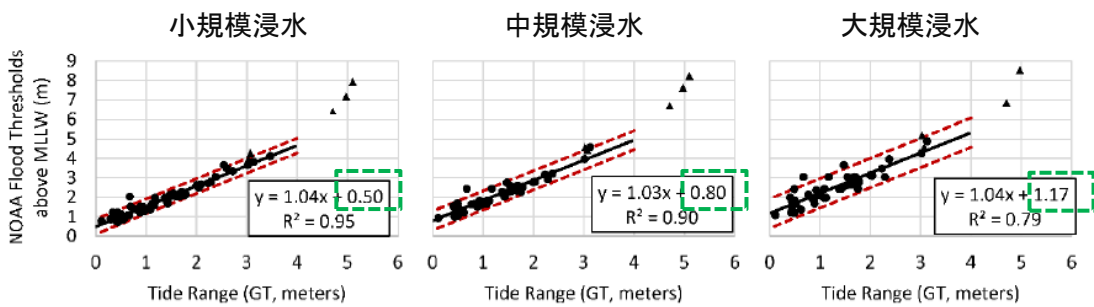


図 1 各地点の平均低低潮位から平均高高潮位までの潮位データの幅（横軸）と NOAA 公式の高潮浸水の閾値（縦軸）の関係（緑点線枠は国総研が加筆）（破線は 90%信頼区間（上下 5%）。三角形のマーカーはアラスカの潮位計）

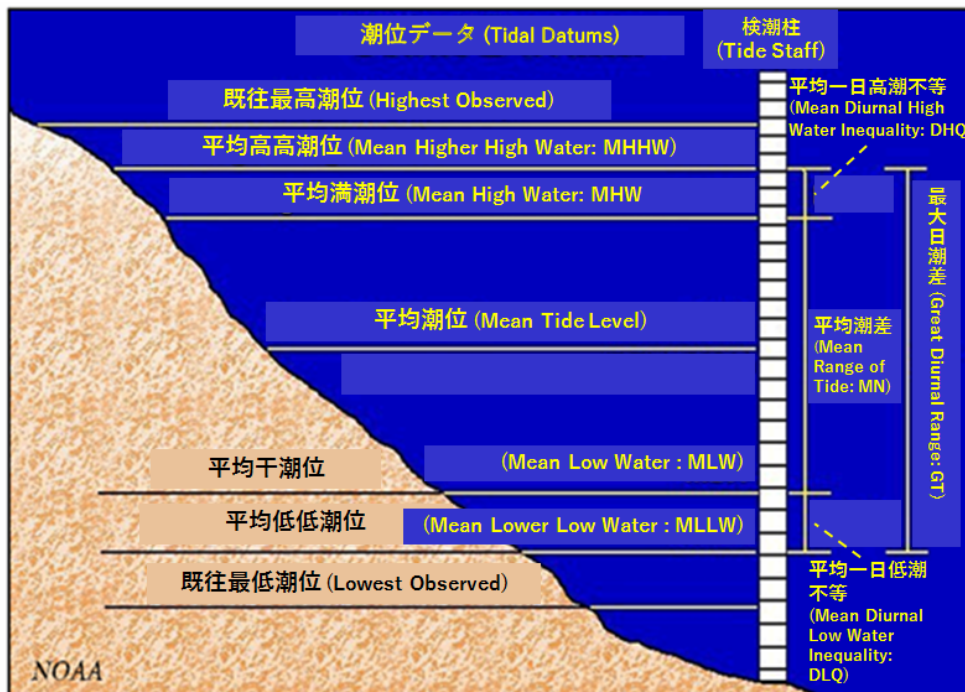


図 2 用語の定義

出典：海洋プロダクト・サービス運用センター（Center for Operational Oceanographic Products and Services）による潮汐資料

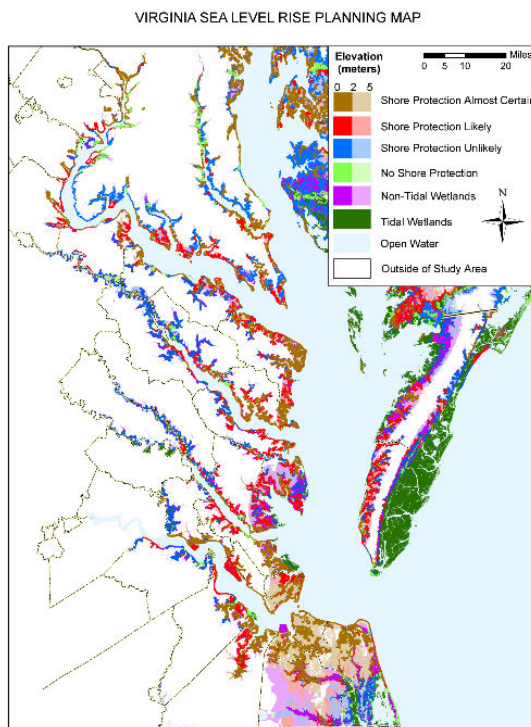


図3 VIMSによるバージニア州の海面上昇計画マップ  
[http://ccrm.vims.edu/climate\\_change/slr\\_maps/index.html](http://ccrm.vims.edu/climate_change/slr_maps/index.html)

【参考】

米国においては、東京のように0m地帯に多くの都市機能が集積しているようなことはないが、沿岸域では、標高が低い場所が住宅等の開発を受けている場合がある。

例えば、左図はバージニア海洋科学研究所（VIMS）※が作成した「海面上昇計画マップ」では、標高が色分けして示されている。それによると、濃色で着色されている場所が標高2m以下である。うち、茶色、赤色の地点は開発されており、気候変動によって防災対策が必要になる、またはその可能性が高いとされている。

※William & Mary 大学（公立大学）の一組織

2) 新たな閾値を用いた海面上昇に伴う全米の高潮浸水リスク評価

次に、導出した閾値を使用して、全米の高潮浸水に対するリスクと脆弱性を、高潮による浸水の頻度（1年あたりの発生日数）又は再現期間の変化として評価した。

その結果、アラスカ以外の米国の沿岸域では、相対海面水位（relative sea level, RSL）が継続的に上昇しており、このことによって小規模浸水頻度は過去数十年、アラスカ州を除く99箇所の既設潮位計のうち31箇所で直線的に増加している（図4）。その傾向は特に、アメリカ東部沿岸（大西洋・メキシコ湾沿岸）で著しい（図5a）。報告書ではその他、季節別（月別）の変化や、エルニーニョや南方振動のような広域の気候・海洋循環の影響等も分析を行っている。

図6に、従来のNOAA公式の沿岸洪水閾値と、今回の報告書の閾値による米国沿岸部の小規模浸水、中規模浸水、大規模浸水の高潮浸水の再現期間の分布を表す。今回の閾値では、中規模浸水は中央値が5年以上、大規模浸水は15年以上であった。なお、小規模浸水は、ほとんどの場所で一年以内（中央値が0.5年）である一方、一部の地域では10年以上20年未満、ときには100年以上であり、高潮浸水の定義を複雑にしている。

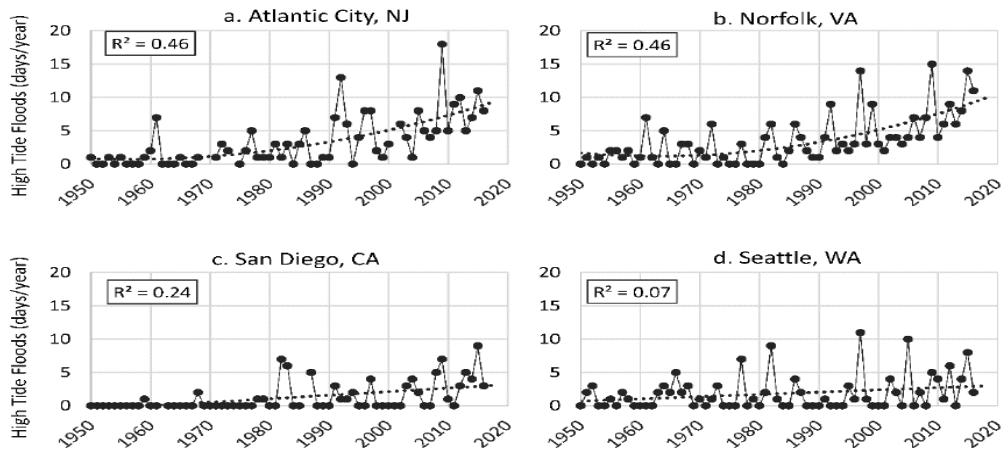


図4 地点ごとの小規模浸水頻度の増加傾向

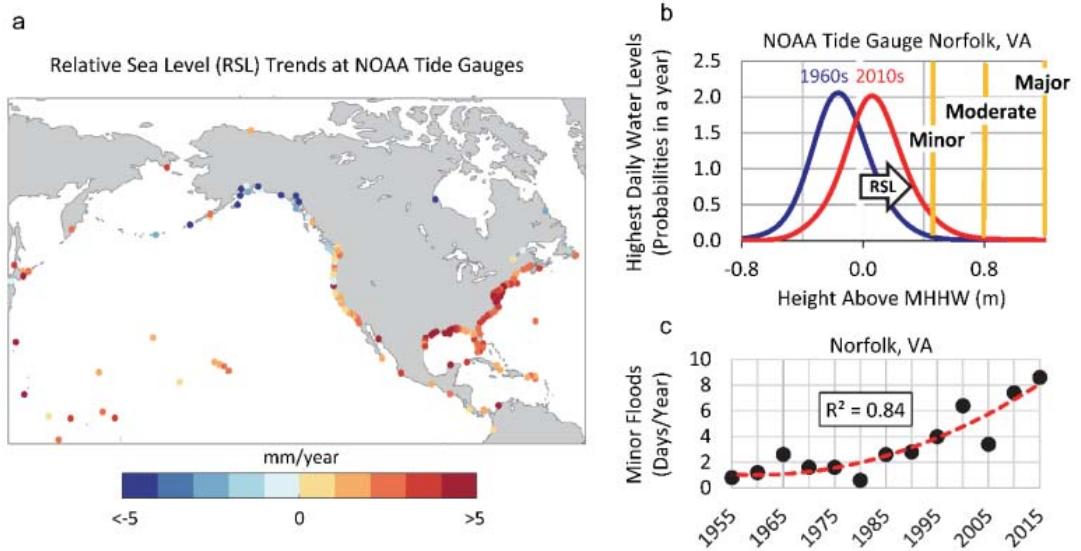


図5a NOAAの30年以上の観測データによって測定・計算された相対海面水位RSLの傾向 (Zervas, 2009)

図5b バージニア州ノーフォークにおける日最高水位の分布と浸水閾値 (1960年代/2010年代)

図5c ノーフォークにおける小規模浸水頻度 (5年間平均値)

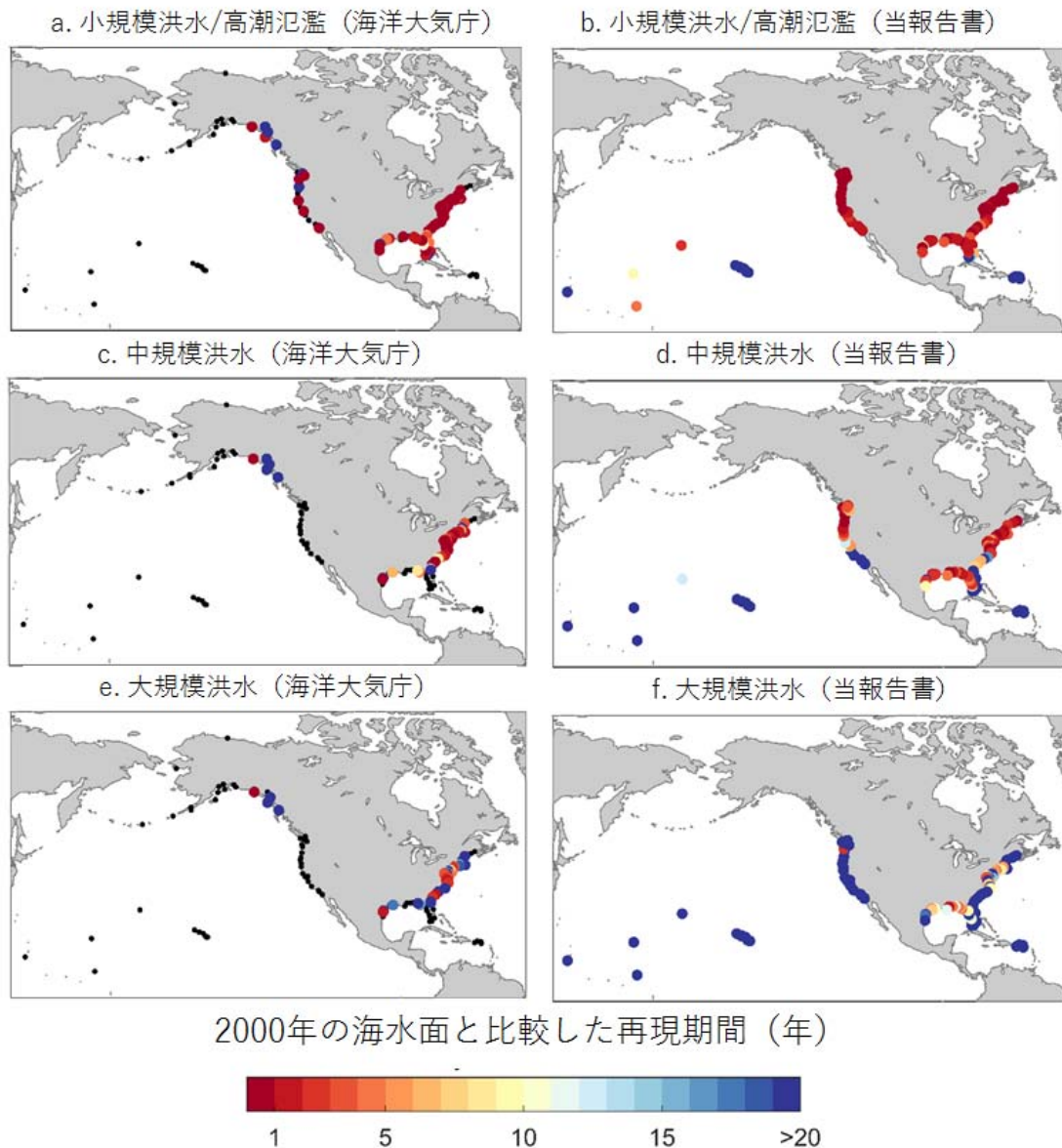


図6 NOAA公式の高潮浸水閾値(左)当報告書の閾値(右)による高潮浸水頻度の分布  
 \*図の黒点は、NOAAの高潮浸水閾値が設定されていない場所を示している。

### 3) 気候変動等による海面上昇シナリオを使用した浸水頻度の分析

今後さらに気候変動等による海面上昇によって、高潮の浸水頻度が急激に増加し続けるだろうことが予想されている。

本報告では、米国政府による海面上昇シナリオ※(図7)の地域別の海面水位の将来予測(図8)のうち、低中間シナリオ(2100年までに全世界平均で0.5m上昇)と中間シナリオ(1m上昇)を用いて、海面上昇に伴う小規模浸水頻度の変化を評価した。

※NOAAテクニカルレポートNOS CO-OPS 083。「米国のための世界的および地方の海

面上昇シナリオ (Global and Regional Sea Level Rise Scenarios for the United States)」(2017, Sweet 他)。米国地球変動研究プログラム (USGCRP) と国家海洋評議会 (NOC) が共同で開催した省庁間タスクフォース (The Sea Level Rise and Coastal Flood Hazard Scenarios and Tools Interagency Task Force、2015 年～) による、世界平均海面上昇シナリオ。陸域の地殻変動による標高変化、地球の重力場と自転、海洋循環による追加的な海面上昇の効果も含まれている。

[https://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/techrpt83\\_Global\\_and\\_Regional\\_SLR\\_Scenarios\\_for\\_the\\_US\\_final.pdf](https://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/techrpt83_Global_and_Regional_SLR_Scenarios_for_the_US_final.pdf)

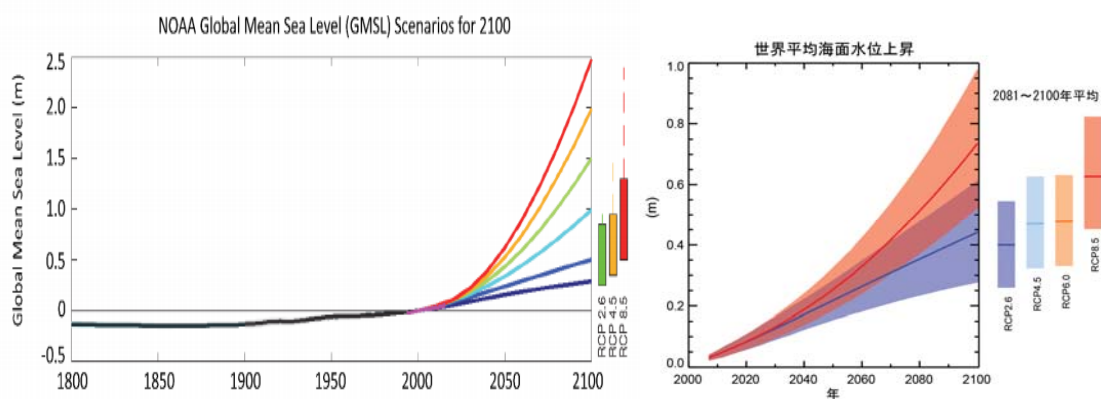


図 7 2100 年の海面上昇シナリオ (左図) (代表的な 6 つのシナリオを採用)

図 8 IPCC 第 5 次報告書の世界平均海面水位上昇 (右図、参考) 国総研追記

[https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/knowledge/sl\\_trend/sl\\_ipcc.html](https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/knowledge/sl_trend/sl_ipcc.html)

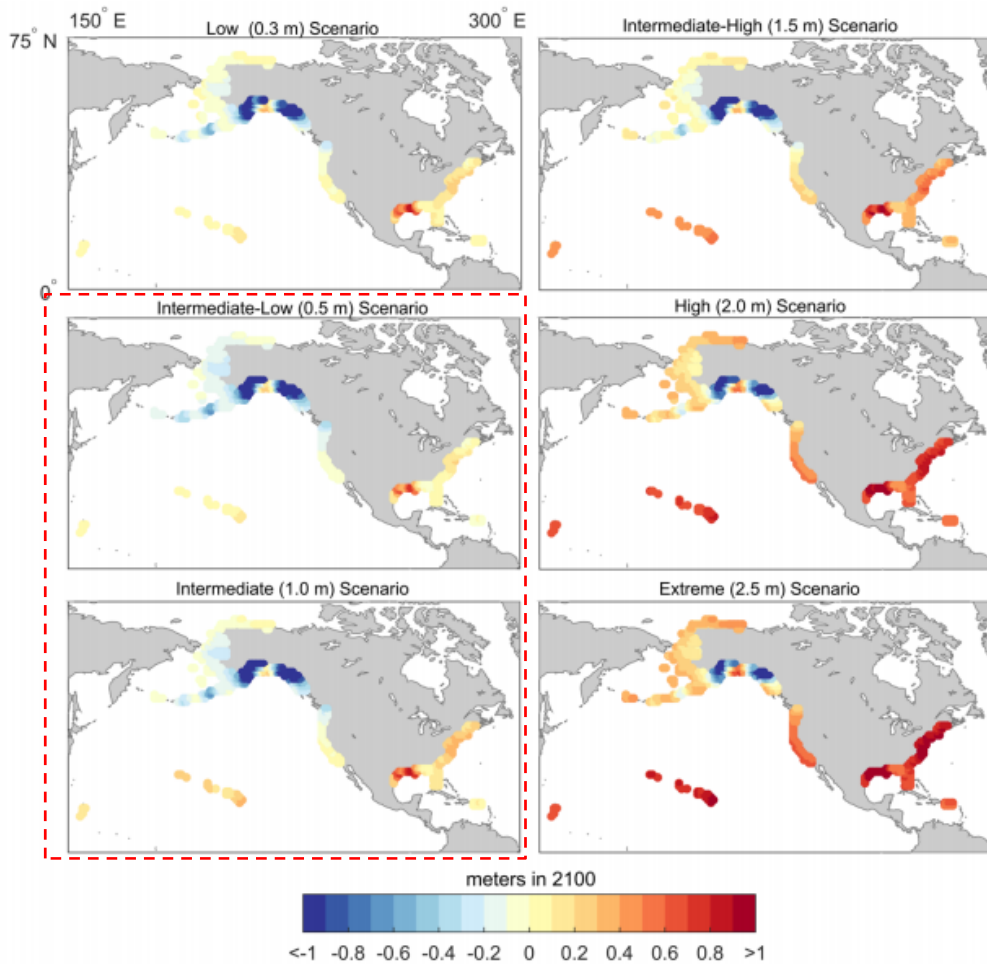


図9 シナリオによる海面上昇量の合計 (Total RSL change)  
赤枠は今回報告書で採用したシナリオ。国総研追記

この2つのシナリオによれば、2050年までに海面上昇により、西メキシコ湾沿岸と北東大西洋沿岸で年間小規模浸水頻度がより大きくなる(図10a.及びc.)。特に、現在では非常に希な(波浪ではなく)潮汐のみを原因とする浸水が、将来は急速に増加する。このことから報告書は、世界的な海面上昇による影響を強調している。

さらに2100年には、低中間シナリオでは大西洋沿岸、西メキシコ湾、太平洋諸島で、小規模浸水は1日置き(182日/年)又はそれ以上の頻度で発生するようになる(図11a.)。中間シナリオでは、ほぼ全ての地域で、小規模浸水が”毎日”(365日/年)発生する(図11c.)。

なお、これらの予測は潮位に基づく潮汐の影響のみで、降雨や熱帯低気圧の増加等による浸水頻度の増加は含まれていない。



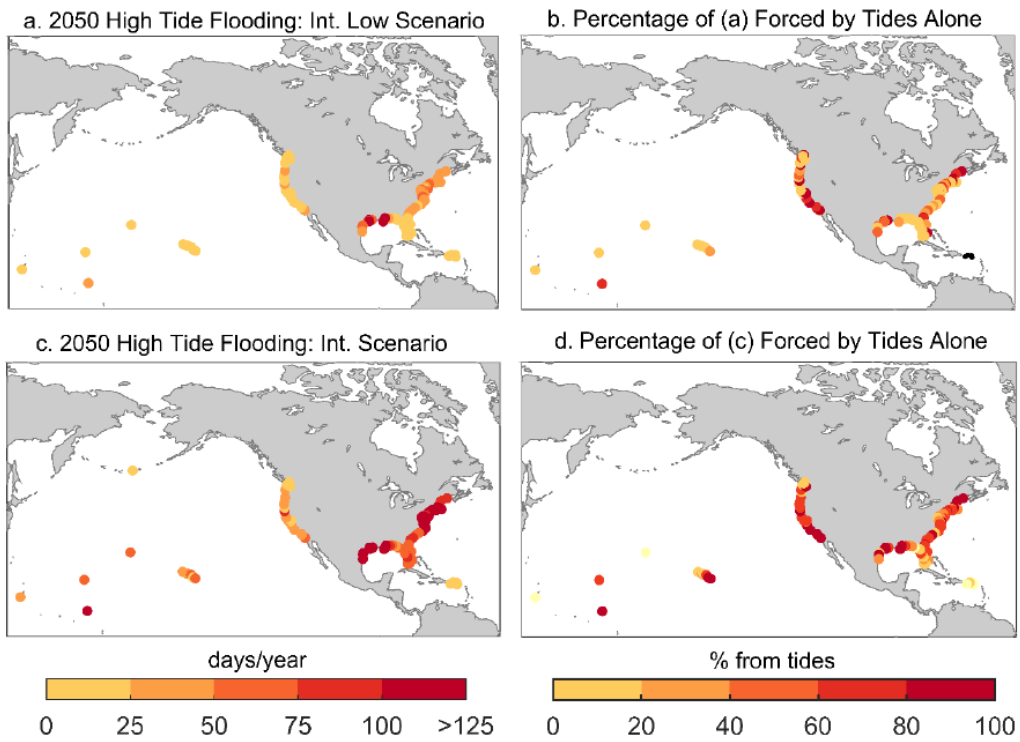


図10 2050年の低中間シナリオ (a.) と中間シナリオ (c.) による小規模浸水頻度とそのうち（波浪等ではなく）潮汐のみが要因の割合（それぞれの右図）

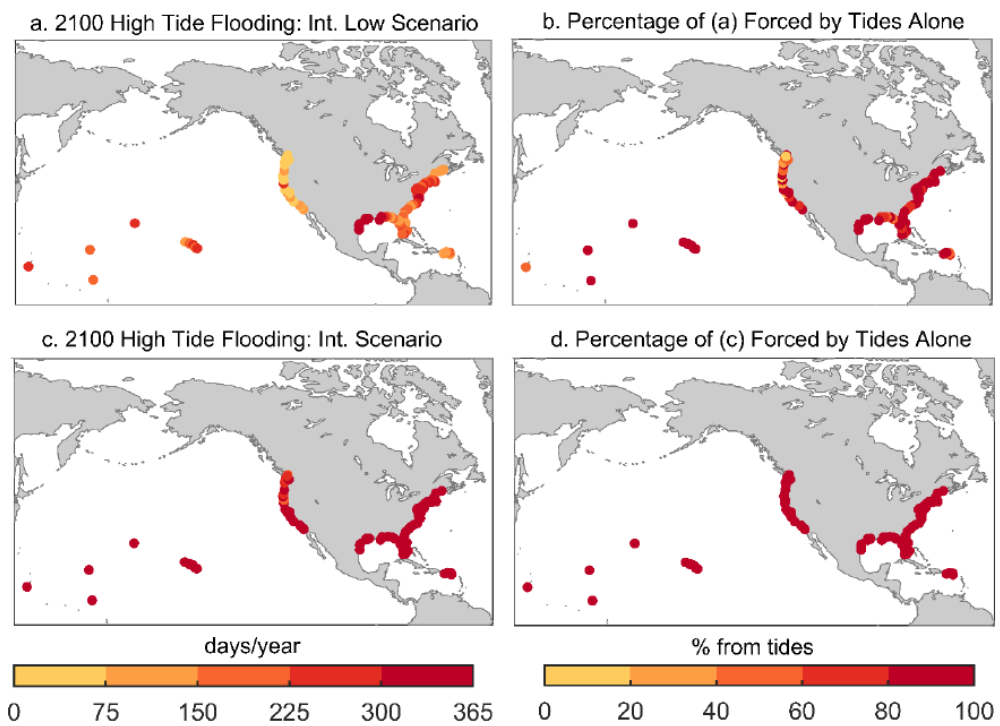


図11 2100年の低中間シナリオ (a.) と中間シナリオ (c.) による小規模浸水頻度とそのうち（波浪等ではなく）潮汐のみが要因の割合（それぞれの右図）

## <その他のニュース>

### (2) 【米：カリフォルニア州水資源管理局が地下水の補充に関する報告書を公表】

カリフォルニア州水資源管理局 (DWR: The Department of Water Resource) は、「地下水補充に利用可能な水資源 (WAFR: Water Available for Replenishment)」を公表した。(2018年4月)

過剰揚水等による地下水位の低下が深刻化しているなかで、地方自治体が地下水持続管理計画を策定するにあたっての、補充事業による地下水涵養量の可能性を示す参考情報であるとしている。

<https://www.water.ca.gov/News/News-Releases/All-News-Articles/Innovation-Investment-and-Infrastructure-Needed-to-Replenish-Groundwater-Basins>

(記事本文)

<https://www.water.ca.gov/-/media/DWR-Website/Web-Pages/Programs/Groundwater-Management/Data-and-Tools/Files/Statewide-Reports/WAFR/Final/Water-Available-for-Replenishment--Final-Report.pdf>

(報告書本文：68.7MB)

水資源の多くを地下水資源に依存するカリフォルニア州では、近年、深刻な干ばつにより地下水供給量が不足し、過剰揚水によって2010～2014年の間に州内の多くの井戸で10フィート以上地下水位が低下した。長期的な地下貯水量の減少、水質の低下、不可逆的な地盤沈下、生態系への影響等、長期的(数十年間)に及ぶ深刻な影響が発生している地域もある。国家水プロジェクトと連邦セントラルバレープロジェクトからの水の供給は、カリフォルニア州の多くの流域で地下水の過剰揚水を減少させた。それでも近年、サクラメント・サン・ホアキンデルタや支流の水質や重要な種を保護するための干ばつや規制要件のため、平均的な供給量は減少している。気候変動はこれらの課題をさらに悪化させることが予想される。

カリフォルニア州では、「2014年持続的地下水管理法 (Sustainable Groundwater Management Act of 2014)」で、持続可能な地下水管理のための長期枠組を定めた。この法律のなかで、中～高重要度の地下水流域を管理する地方自治体は、地下水持続管理局 (Groundwater Sustainability Agencies) を設置し、地下水持続管理計画 (Groundwater Sustainability Plan) の策定、運用を管理することとなった。この地下水持続管理計画は2022年(過剰揚水が著しい地下水流域では2020年)までに策定される。また、併せてDWRはこれに関するプロジェクトのために、78のコミュニティーに対して助成金8,580万ドルを付与することを、2018年4月に発表している。

<https://water.ca.gov/News/News-Releases/All-News-Articles/DWR-Finalizes-Over-85-Million-in-Grants-for-Local-Implementation-of-SGMA>

一方、カリフォルニア州水資源管理局(DWR)には、地方自治体が2020年1月まで

に地下水持続管理計画を策定するのに役立つように、「地下水補充」に利用可能な表流水の推定評価を支援するための報告書の作成を義務づけた。これを受けて今回、DWR は、大雨の年を除いて、帯水層への補助に利用できる水量が限られていることを示す最終補給用水（WAFR）報告書を発表した。広範なステークホルダーの関与により開発されたこの報告書は、地下水補充に利用可能な水量の見積もりを、全州で年平均 150 万エーカーフィート（MAF）（15 億 m<sup>3</sup>、最良推定）と見積もっている。さらに、貯水池、保全、再生水、雨水回収、淡水化、輸送改善などの事業への追加投資により、将来的に補充する水量を増やすことができるとした。



図 12 地下水補充に利用可能な表流量推定のための要素

図 12 が、地下水補充に利用可能な表流量推定の概念図である（赤丸は国総研追記）。

なお、この報告書では帯水層への補充のうち、地下水の「涵養」は水循環の一環として自然に発生するが、「地下水補充」は、地下水流域を管理して地下水位の標準値

を保つ、または改善することと定義している。

地下水補充は、「積極的な補充 (active recharge)」と「代用水の供給 (in-lieu recharge)」の 2 つの方法がある。「積極的な補充」には、氾濫原への直接の拡散や還元井の設置 (帯水層への注入) が含まれる。「代用水の供給」は、例えば、需要に対して地下水ではなく代替りの供給源として、再生水、塩水を淡水処理すること等により、地下水の利用を抑制することとしている。

■ 地下水補充に利用可能な表流水の評価手法

この報告書では、カリフォルニア州のそれぞれ 10 箇所の水文地域 (hydrologic region) と 56 箇所の計画地域 (planning area) で地下水補充に利用可能な表流量の推定評価を行った。供給可能な表流水は補充のみに使用し、地下水の保水量に制限がない事を評価の前提条件とした。水資源開発事業等による分流量の評価においては、最良推定のほか、誤差を考慮して表 2 に詳述する 5 通りのシナリオを用いた。

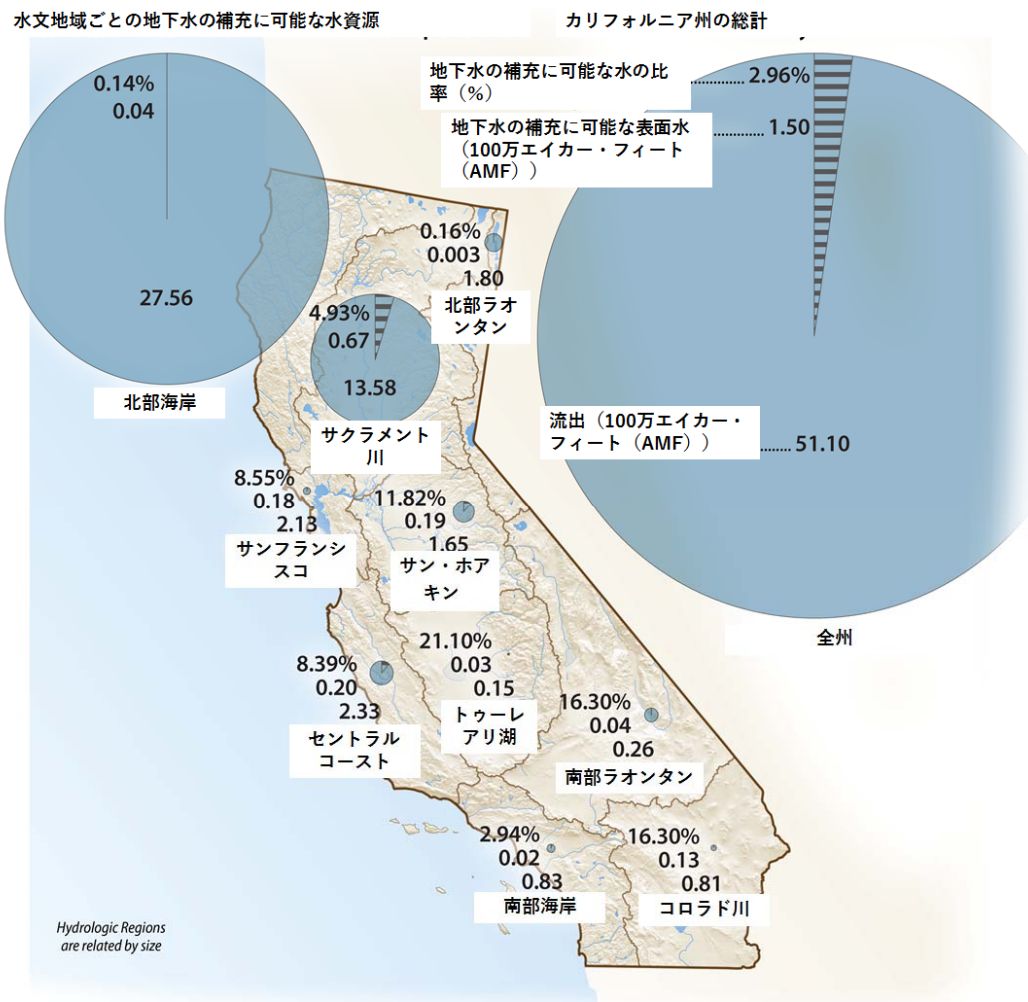


図 13 全州／水文地域ごとの流出量と地下水補充に利用可能な表流量の最良推定

図 13 に、10 の水文地域別の流出量と地下水補充に利用可能な表流水量（最良推定）を示した。この図から分かるように、流出量は州北部の特に北部海岸において圧倒的に多く、南部ほど少ない。しかし例えば、北部海岸においては、流出量のうちの大部分が環境保全のために要求される表流水として充てられていることから、地下水に補充可能と評価された水量は 0.04MAF（全州の 2.7%）に過ぎない。

一方で、地下水補充に利用可能な表流水量が最も多いのは、サクラメント川水文地域の 0.67MAF で、全州 1.5MAF の 45% を占める。サクラメント川水文地域の水収支の評価を図 14 に示す。なお、中央の図に示されている流出量 (Runoff)、他地域からの移入量 (Regional Imports)、水資源需要量 (Demand)、他地域への移出量 (Regional Exports)、他地域への流出量 (Regional Outflow)、地下水の補充に可能な水資源量 (WAFR) の収支は必ずしも整合しない。

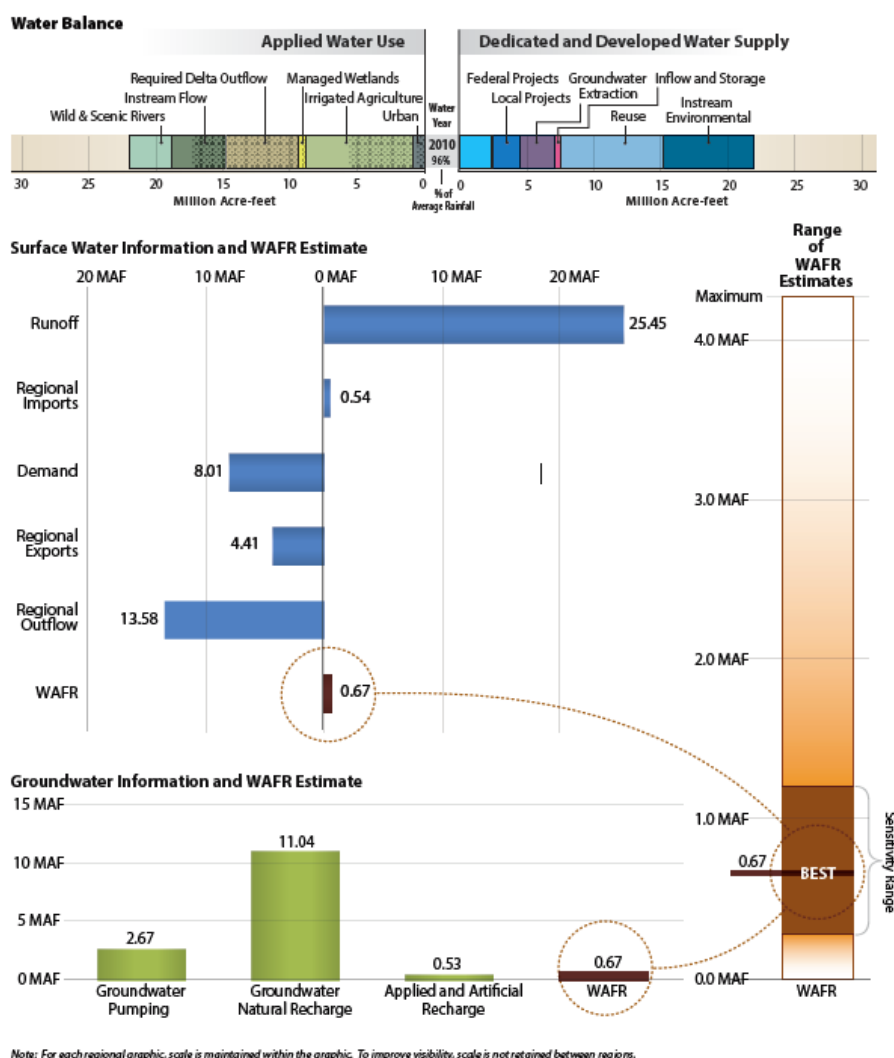


図 14 サクラメント川水文地域の地下水に補充可能な水資源量（水文地域別の評価の例）

「地下水補充に利用可能な表流量（WAFR）」の算出方法を概説する。

① 「流出量」の算出

総合的水資源管理システム（Water Evaluation and Planning, WEAP）\*1によるシミュレーションを用いて、1967年から2012年までの河口近傍地点の日流出量のデータから、降雨、都市と農業の水需要、水管理施設の操作の情報を踏まえて、「流出量」（図15の「日流量」）を算出する。

\*1 持続可能な開発と環境問題を専門とし、独立した非営利研究政策機関であるストックホルム環境研究所（Stockholm Environment Institute）で開発されたシステム。詳しくは以下のURLを参照。

<http://www.weap21.org/>（WEAP: Water Evaluation And Planning System）

② 「正常流量」の算出

連邦、州、市町村が定める正常流量（instream flow requirement）、または、水利許可（water right）、カリフォルニア州水資源管理委員会・北カリフォルニア沿岸正常流量管理方針（SWRCB's Policy for Maintaining Instream Flows in Northern California Coastal Streams）、テナント法（Tennant method）を使用して求める。

③ 「水資源開発事業等による分流量」の決定

さらに「新しい水開発事業の分流量」をカリフォルニア州水資源管理委員会・電子水利利用許可情報管理システム（eWRIMS）のデータ等から仮定する。

以上の「正常流量」と「新しい水開発事業の分流量」より、「水資源開発事業等による分流量」（2012年までの開発量+それ以降の新しい開発量）を決定する。

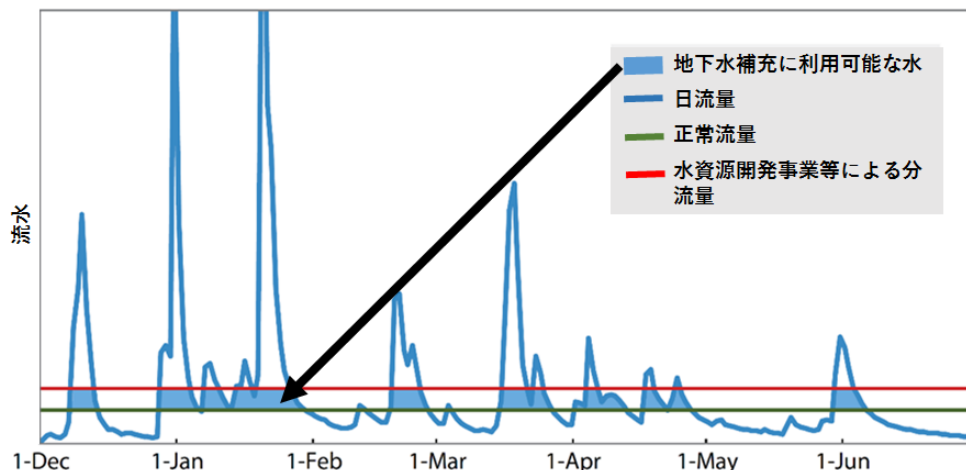


図15 最良と推定した水資源開発事業における地下水の補充に可能な水の適用

④ 地下水補充に利用可能な「水資源開発事業等による分流量」の仮定

「水資源開発事業等による分流量」のうち、「地下水補充に利用可能な表流量」

として充当できる分流量は、シナリオごとに異なるが(表2)、例えば最良推定の場合、この「水資源開発事業等による分流量」の表2に仮定する割合を地下水補充にあてるものとして仮定する。

表2 地下水補充に利用可能な表流水量の推定と水資源開発事業の特質

シナリオの種類	仮定する水開発事業の分流量	仮定する正常流量
最良推定 (Best Estimate)	現存する最大分流量	現存する正常流量
感度分析の下位ケース推定 (Lower Sensitivity Range Estimate)	現存する最大分流量の 1/2	現存する正常流量の 2 倍
感度分析の上位ケース推定 (Upper Sensitivity Range Estimate)	現存する最大分流量の 2 倍	現存する正常流量
最大推定 (Maximum Estimate)	分流量の限度無し	現存する正常流量
水資源開発事業が無い推定 (No Project Estimate)	水資源開発事業無し	水資源開発事業無し

⑤ 地下水補充に利用可能な表流水量の比率の算出

河口地点の流出量(実績データ)と「仮定する水開発事業の分流量」から、地下水補充に利用可能な表流水量の比率を算出する。

$$\text{地下水補充に利用可能な表流水量の比率} = \frac{\text{仮定する水開発事業の分流量}}{\text{計測器で観測された流出量}}$$

⑥ 地下水補充に利用可能な表流水量の算出

総合的水資源管理システム(WEAP)のシミュレーションによる流出量に、地下水補充に利用可能な表流水量の比率を乗じることにより、地下水補充に利用可能な表流水量を算出する。

このようになりに大胆な仮定を置いていることから当然のことではあるが、シナリオによって、地下水補充に利用可能な表流水量の値には大きな差がある。図16では、カリフォルニア州全体での、シナリオごとの推定値を表している。最良推定は1.5MAFであるが、最大は13.21MAF、最小は0MAFである。

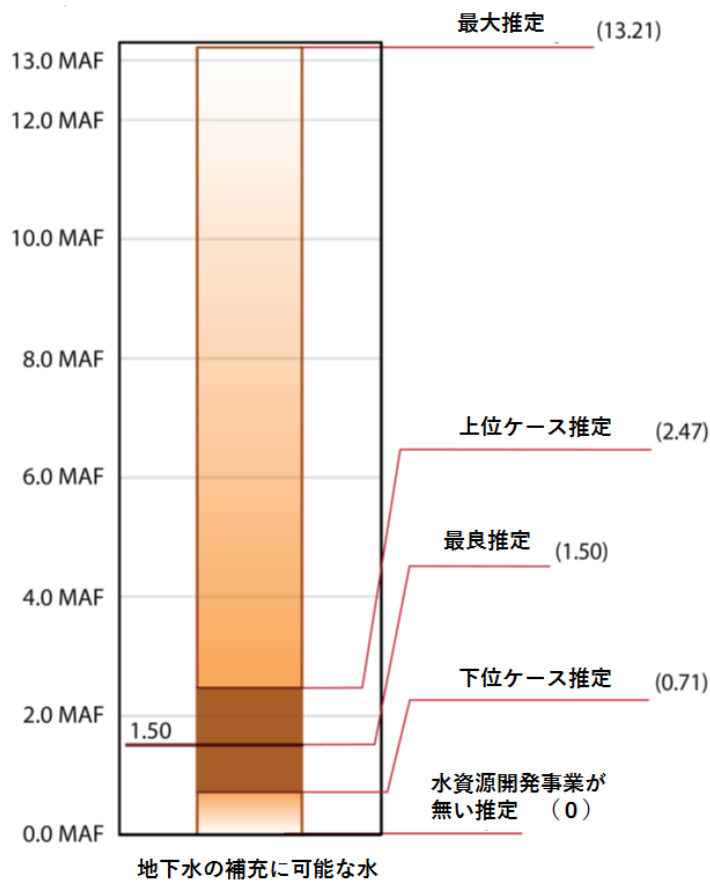


図 16 シナリオ別の地下水補充に利用可能な表流水量（州総計）

なお、地方自治体が実際に計画を策定するにあたっては、自然保護、再生水、淡水化、貯水とその運搬の役割を担うインフラ、雨水貯水を含む多様な水資源開発事業を組み合わせることで計画を構成すべきとしている。

【お問合せ先】

国土技術政策総合研究所 気候変動適応研究本部 事務局  
 河川研究部 服部 (M8092-3512, [hattori-a92f4@mlit.go.jp](mailto:hattori-a92f4@mlit.go.jp))  
 山本 (M8092-3527, [yamamoto-y92td@mlit.go.jp](mailto:yamamoto-y92td@mlit.go.jp))  
 (情報収集担当：河川研究室 生江)