

環境省環境研究総合推進費 戦略的研究開発プロジェクトS-10公開シンポジウム
『地球温暖化対策の長期目標を考える
ーパリ協定の「1.5°C」、「2°C」目標にどう向き合うか?』

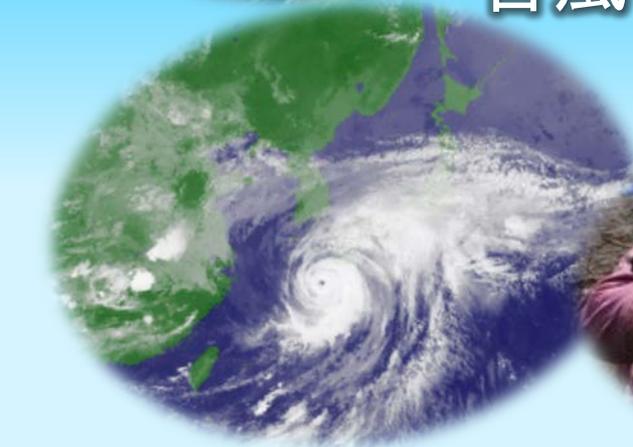
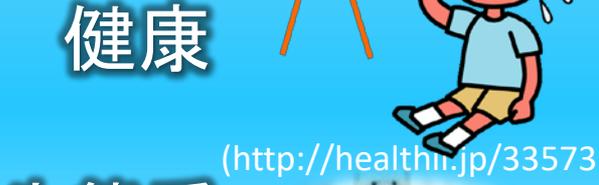
今世紀の排出が1000年 先の未来を決める?! ーティッピングとは何か?

鼎信次郎(東京工業大学)

2016年11月21日

東京大学伊藤国際学術センター伊藤謝恩ホール

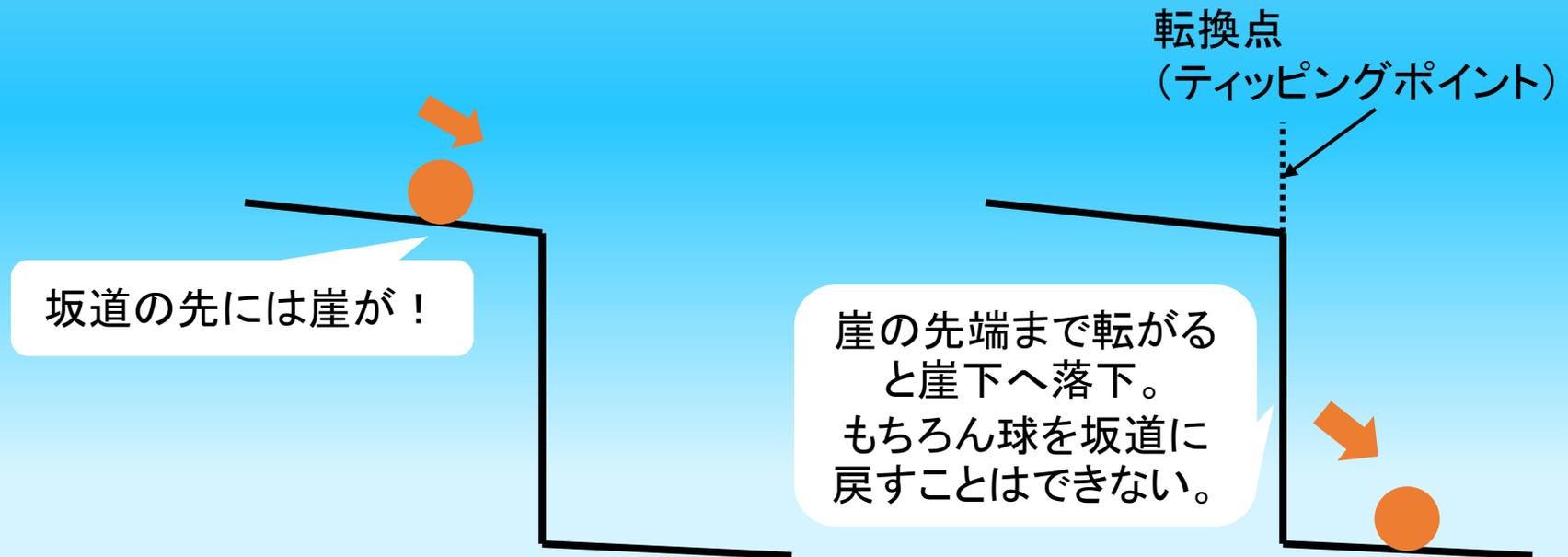
地球温暖化による様々なリスク



ティッピングポイント(TP)とは？

それまで小さく変化していたある物事が、突然急激に変化する時点を意味する。

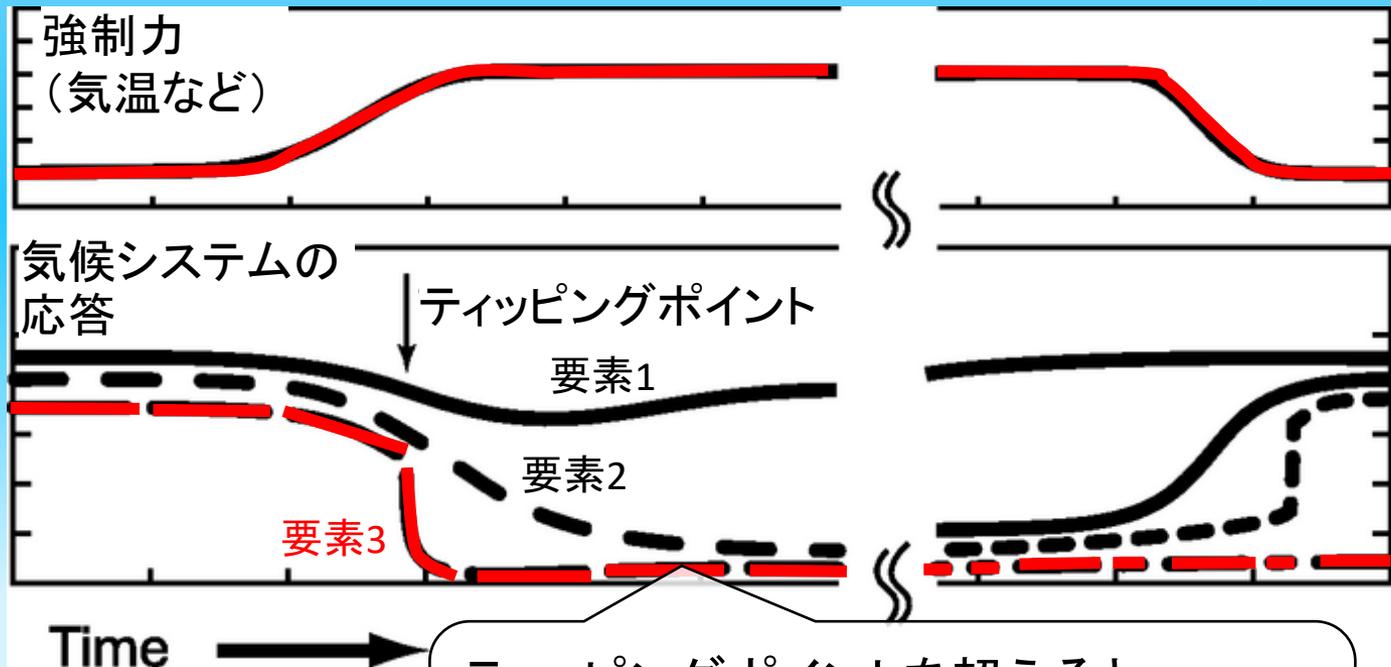
例えば、坂道を丸い球が転がっているとする



ティッピングポイント(TP)とは？

地球温暖化研究では、
地球の気候を構成する要素に質的かつ急速な変化が生じさせるしきい値(気温など)を指す。

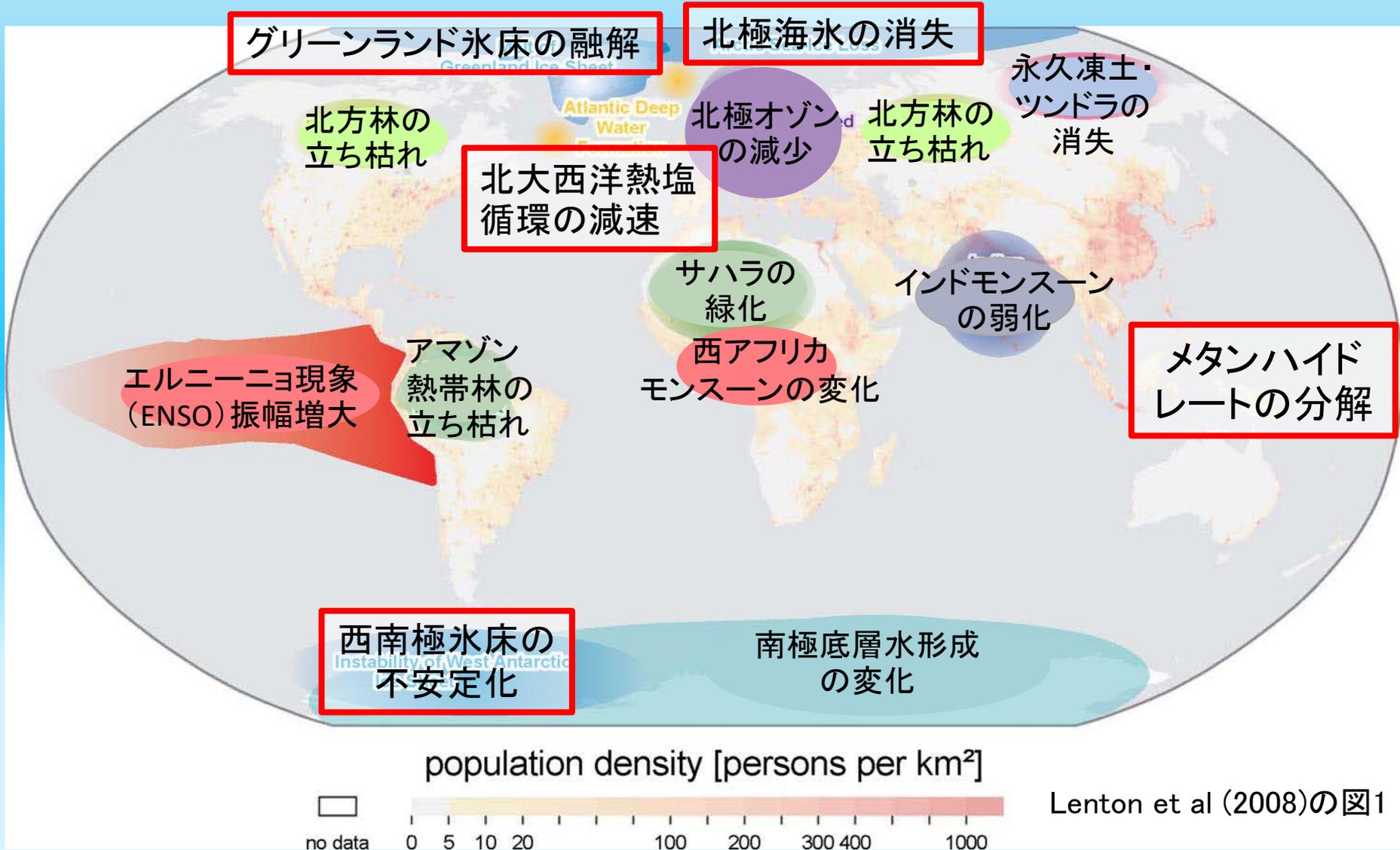
Meehl et al., 2007



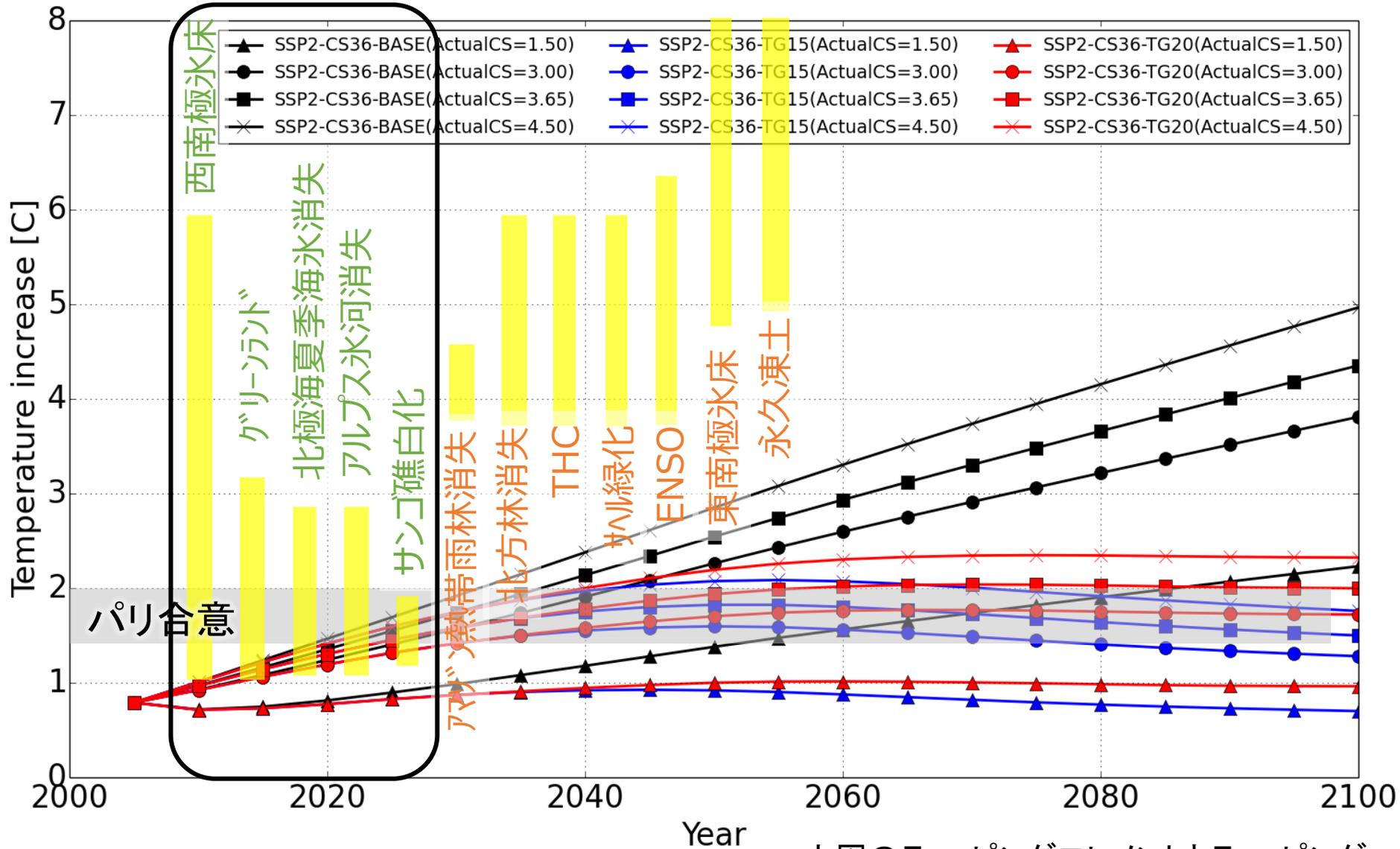
ティッピングポイントを超えると、
気候システムにしばしば元に戻すこと
ができない大規模な変化が生じる。

ティッピングエレメント(TE)とは？

TE: TPを超えたときに発生しうる地球の気候システムを構成する要素。



ティッピングエレメントの発現可能性は？



上図のティッピングエレメントとティッピングポイントの幅はSchellnhuber et al. (2016)より

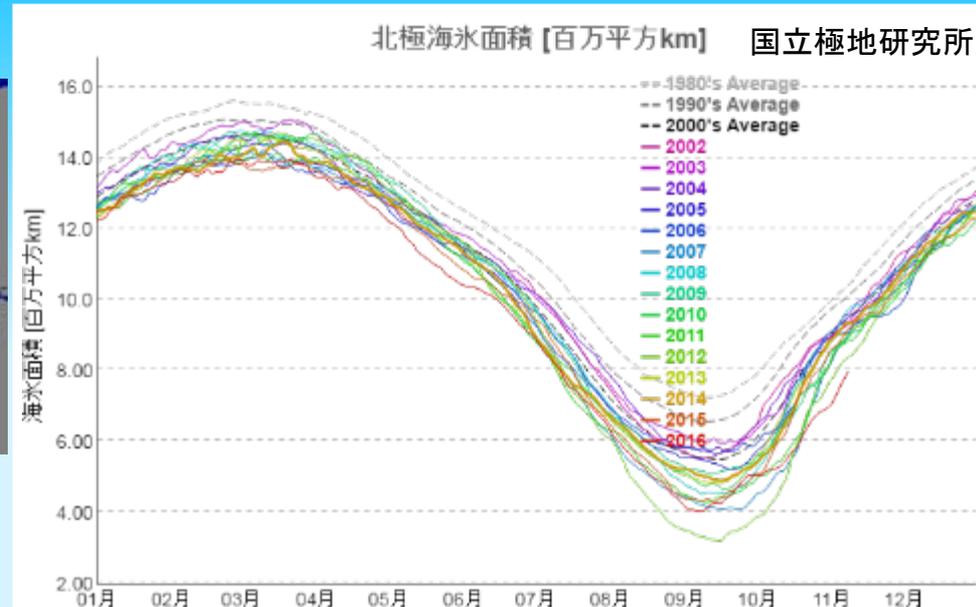
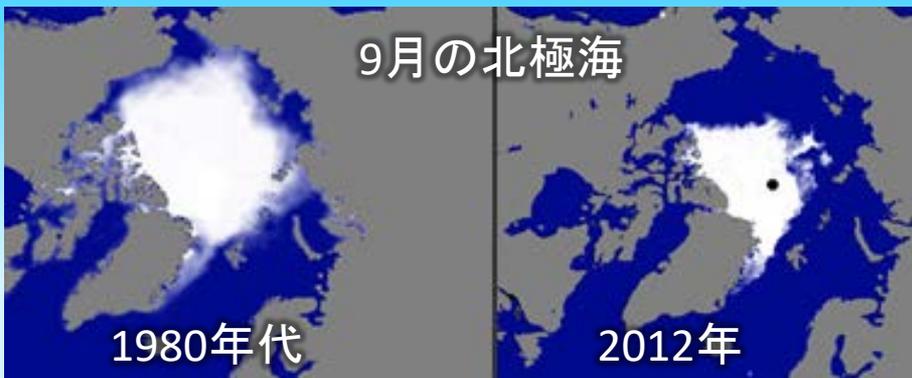
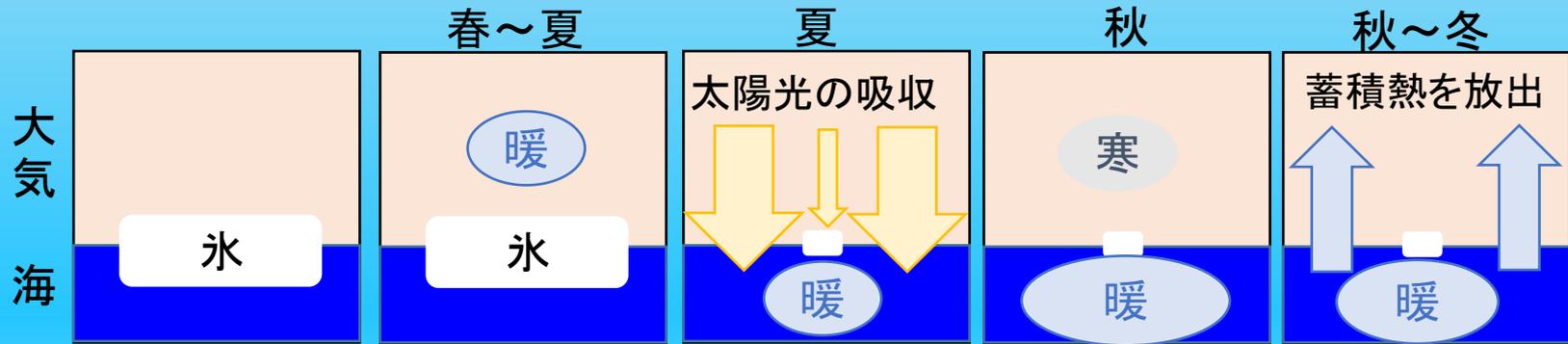
ティッピングポイントを超える可能性がある あるティッピングエレメント

- ✓北極海夏季海氷の消失
- ✓アルプス氷河の消失
- ✓サンゴ礁の白化
- ✓グリーンランドと南極氷床の融解

北極海夏季海氷の消失

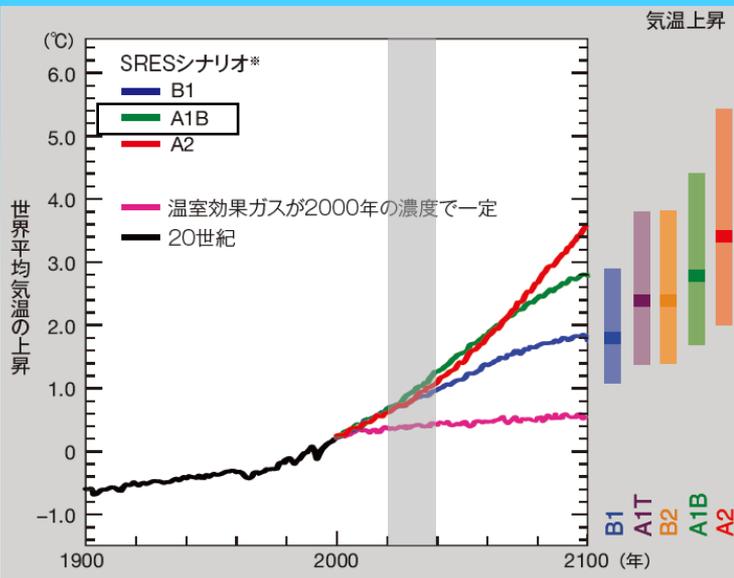
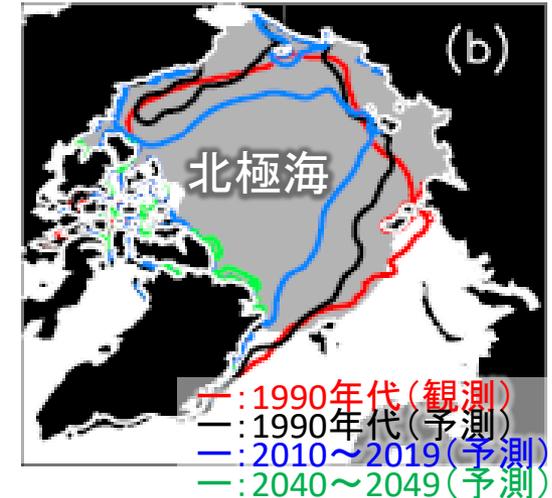
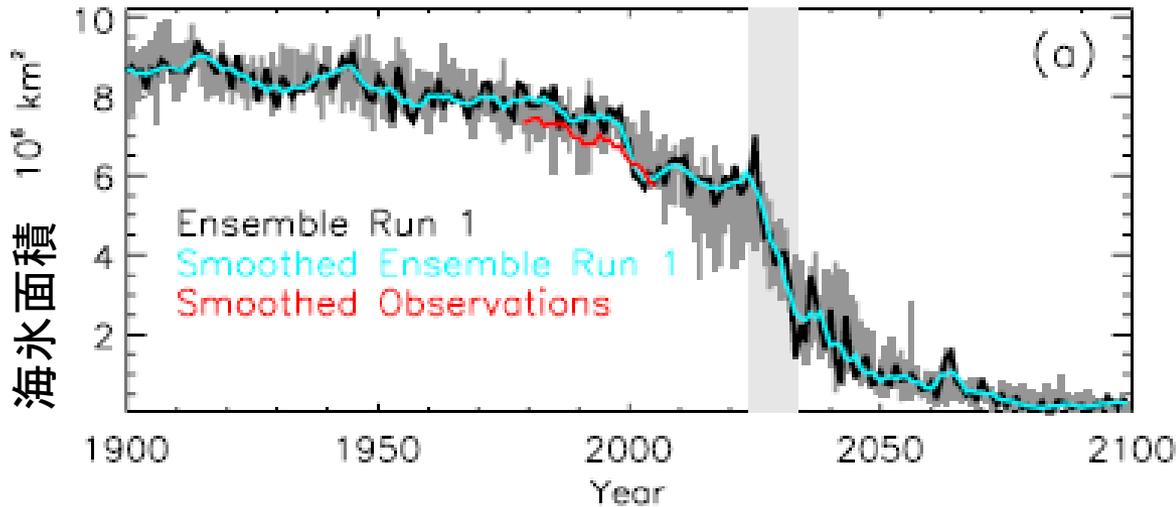
通常は、北極海では毎年、春から夏にかけて海氷が縮小し、9月に最小になった後、再び冬にかけて海氷が拡大するという変化を繰り返している。

Yoshimori et al., 2014



北極海夏季海氷の消失

Holland et al., 2006 in GRL



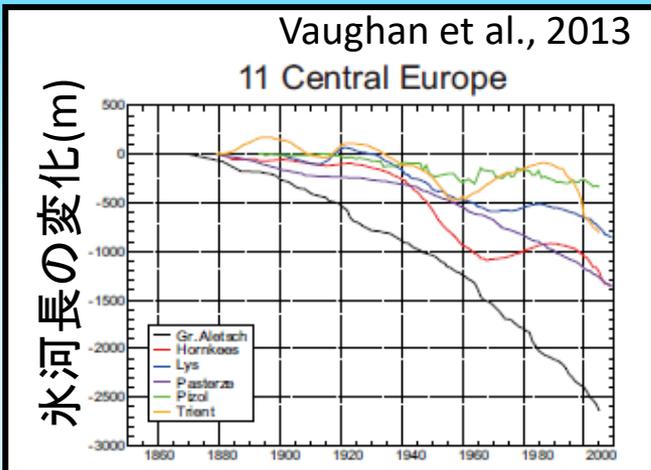
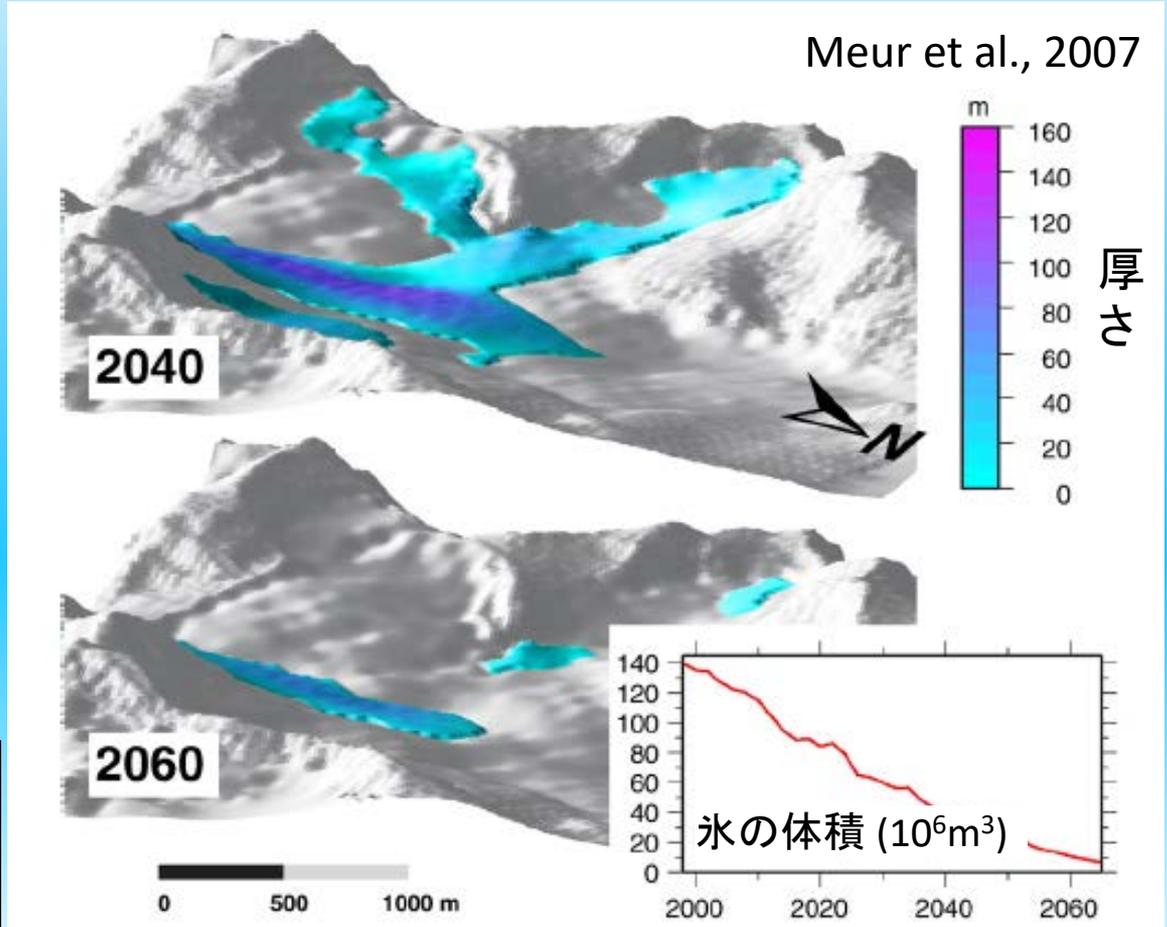
- ✓ 2040年代、A1Bシナリオ(+1~2°C上昇)で夏季の海氷は、カナダとグリーンランド北岸沿いのみ残る。

【影響】

太陽熱の吸収率上昇、
海水から大気への熱輸送増加、
深層循環、生態系、先住民 等

アルプス氷河の消失

既に氷河消失・・・



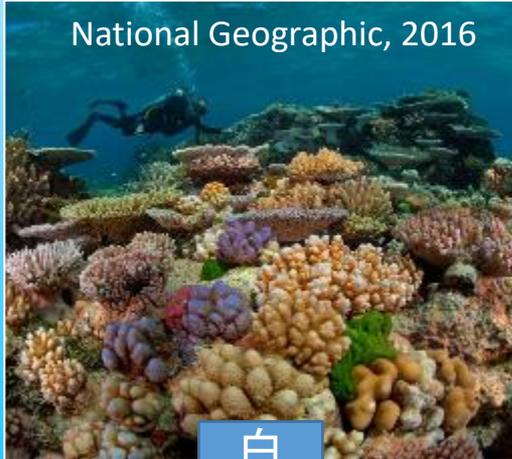
✓ B1シナリオ(+2°C上昇)で、2060年代までにアルプス氷河はほぼ消失する予測。

【影響】

水資源(河川水量・ダム貯水)、エネルギー、海面上昇 等

サンゴ礁の白化

Schleussner et al., 2016 in ESD



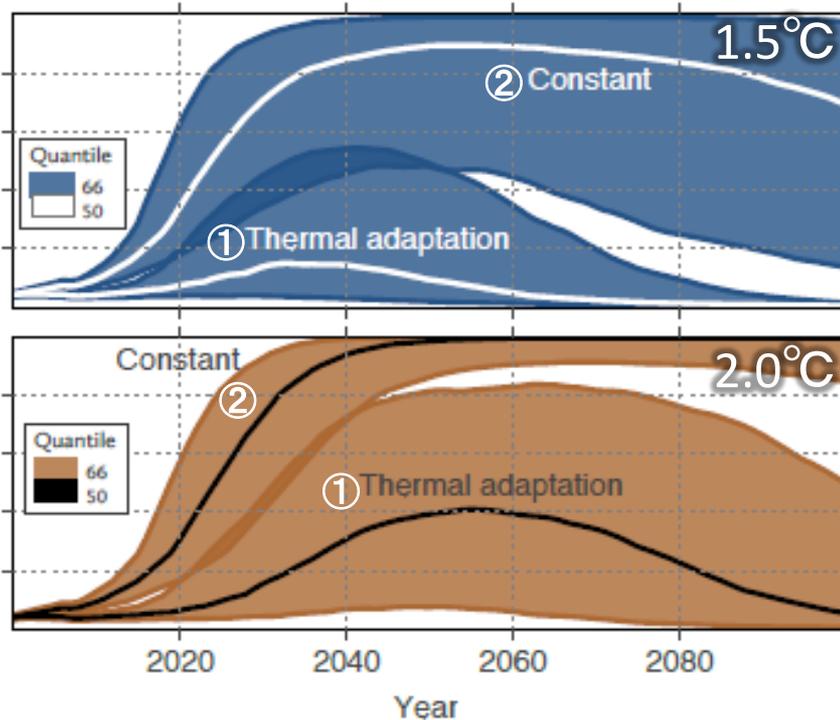
白化



2050年のサンゴ礁白化割合	1.5°C	2.0°C
① 進化による熱適応	9%	39%
② 1.5°C or 2.0°Cが維持	89%	98%
③ 海洋酸性化や病原菌の拡大等が②に追加された場合	94%	100%

- ✓ 1.5°C・2.0°C 上昇の場合 どちらもサンゴ礁の多くが白化
- ✓ サンゴへのストレス(海面上昇・ENSOイベントや熱帯低気圧の増加・外来種の増加など)は未考慮

サンゴ礁白化リスクの割合(%)



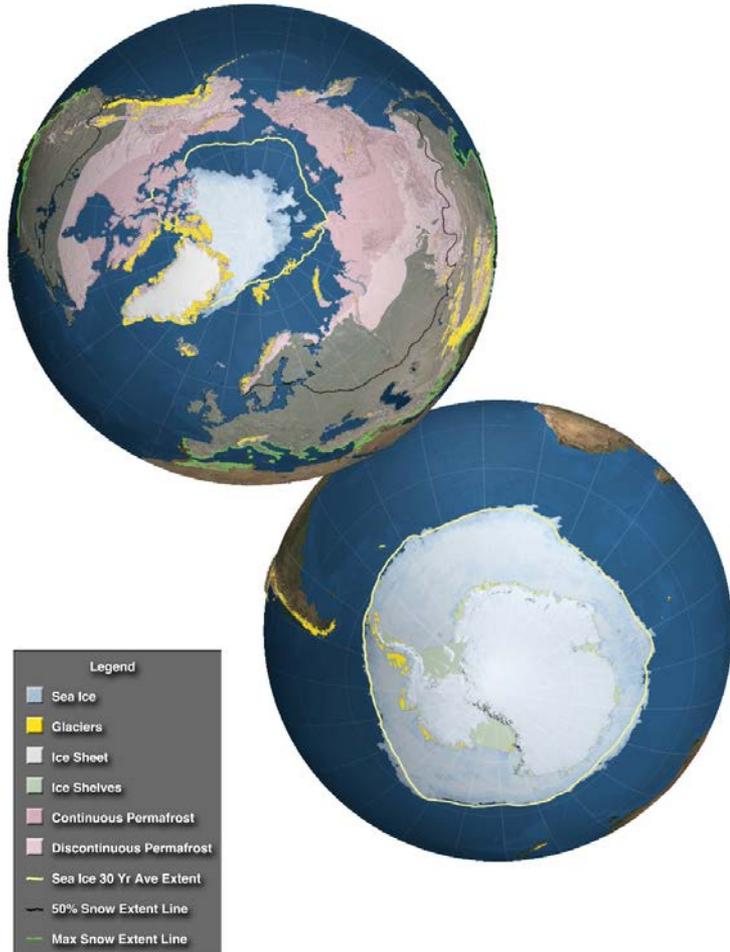
【影響】

- ・生物多様性
- ・漁業
- ・観光資源 など

グリーンランド氷床と南極氷床

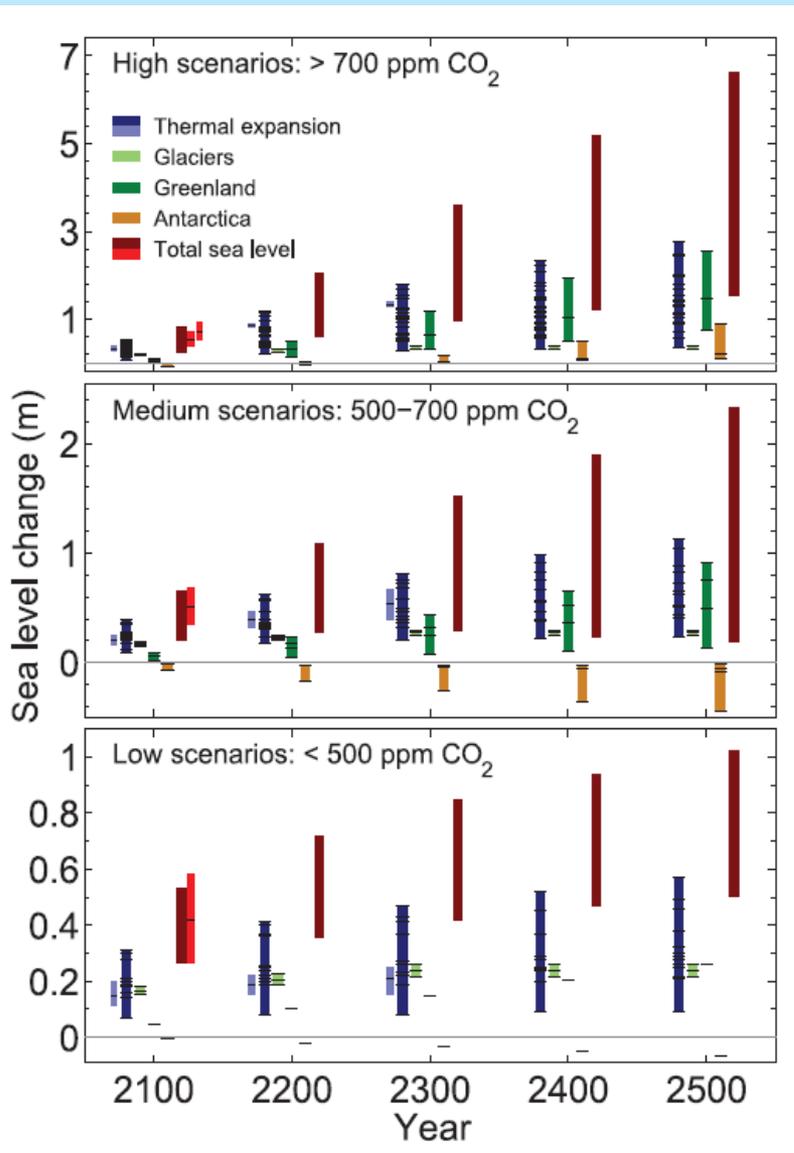
氷河：重力によって長期間に渡り緩やかに動く氷塊

氷床：大陸規模（5万km²以上）の氷河



	グリーンランド氷床	南極氷床 (接地部分)
表面積	約170万 km ²	約1,230万 km ²
氷厚の平均	約1,700m	約2,034m
地球上の氷 (氷河・氷床) に占める割合	約11%	約88%
全融解した場合の海面上昇寄与	約7.3m	約57m

海面上昇と各要素の寄与



•2081~2100年における海面上昇量の予測: **+0.26~0.82 [m]**

*1986-2005年を基準

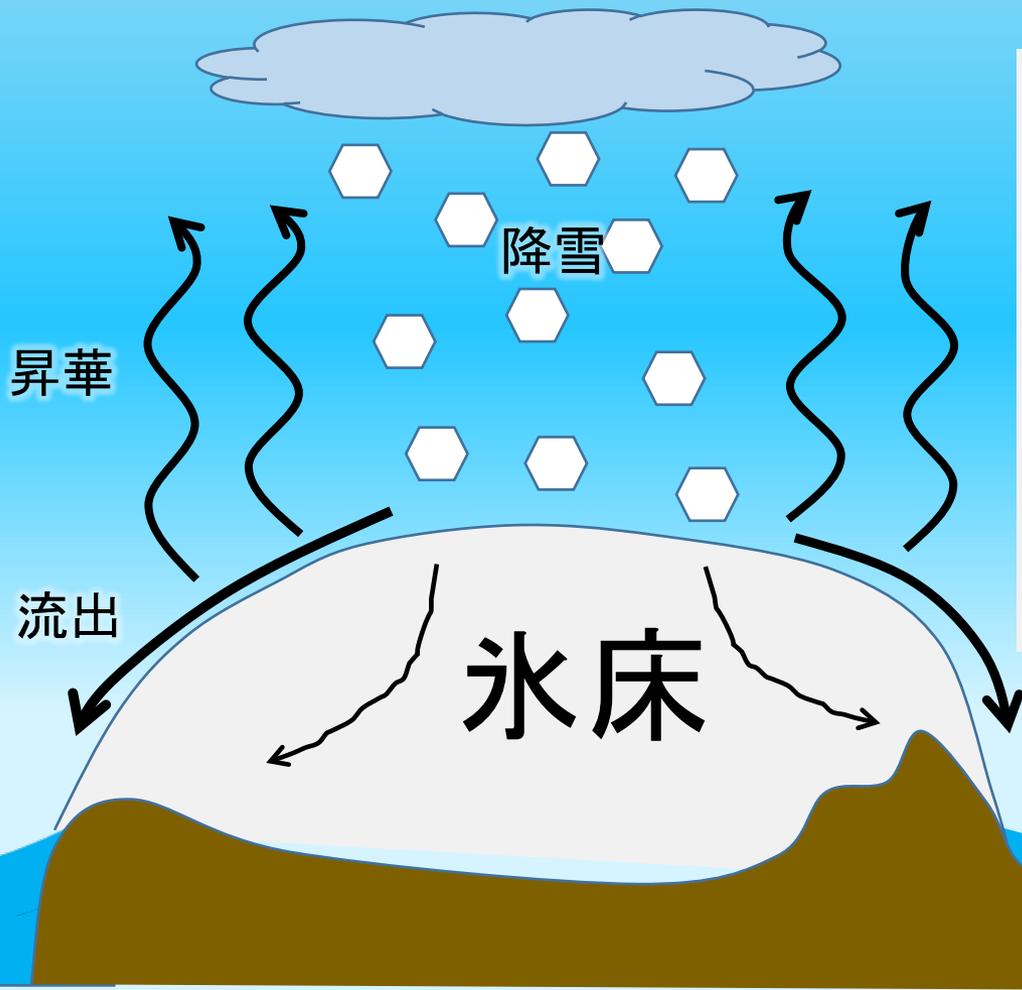
・~2100年では海面上昇寄与は、
熱膨張 > (山岳)氷河 >
グリーンランド氷床 > 南極氷床

・2100年を超えた予測では、
グリーンランド氷床の寄与が大きくなる可能性がある(左図)。

*モデル性能の関係により左図で南極氷床からの寄与は過小評価されている可能性がある。

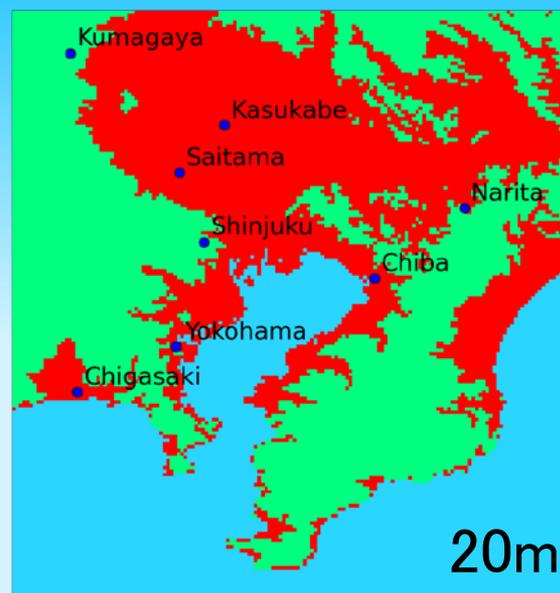
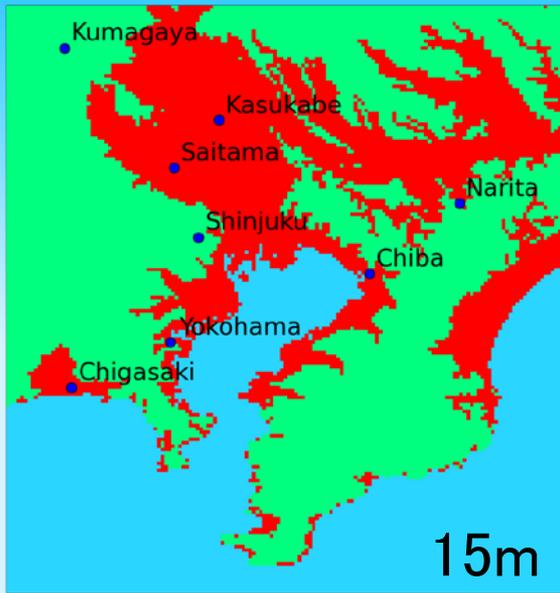
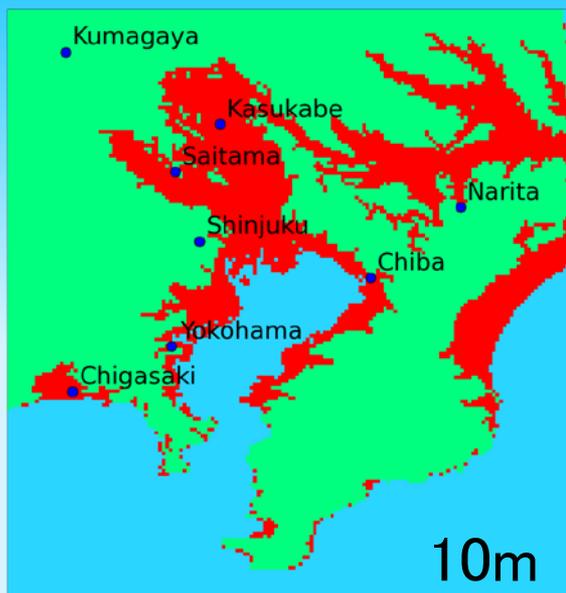
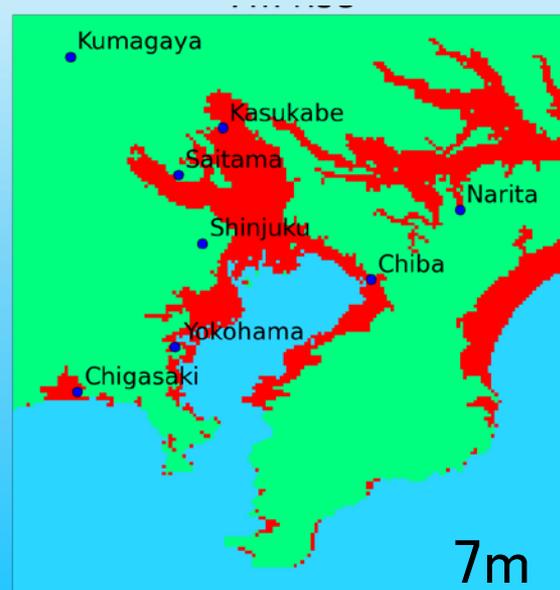
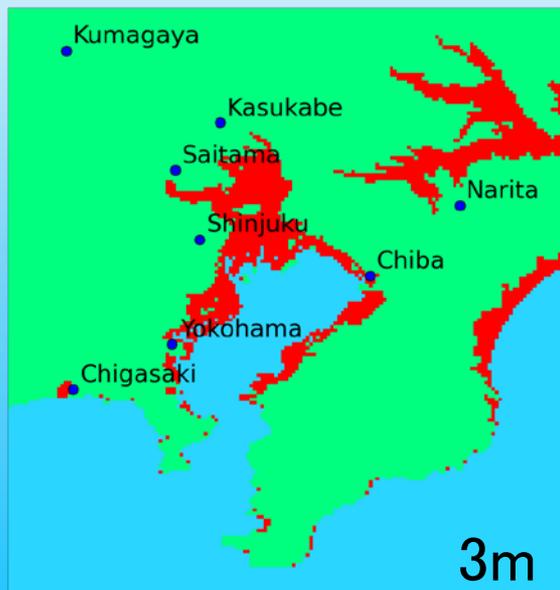
グリーンランド氷床のティッピングポイント

→表面質量収支が負に転じる(全球平均)気温:
表面質量収支=降雪-昇華-流出



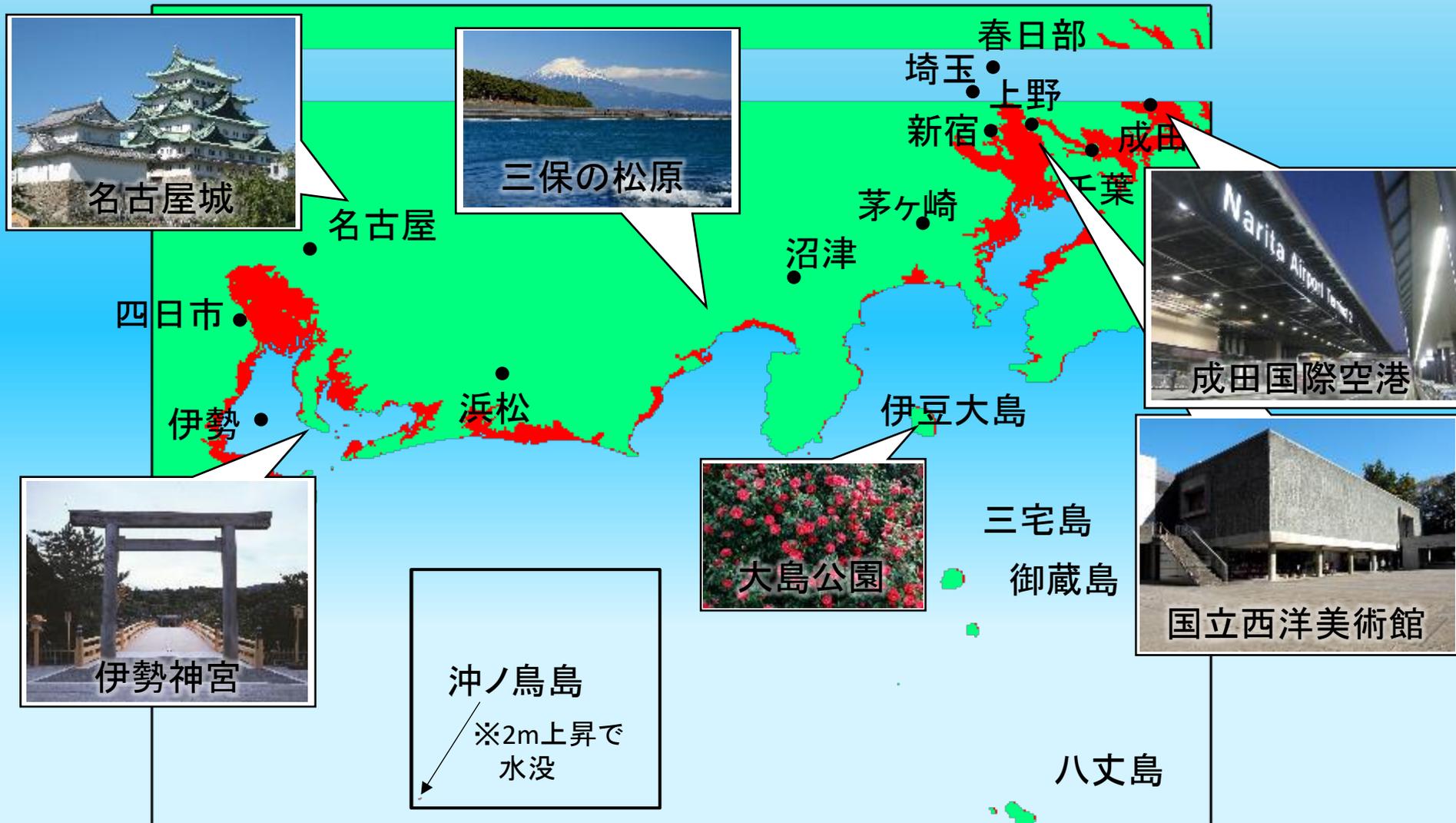
表面質量収支～
標高フィードバック:
氷床融解(昇華・流出)
の増加
→氷厚の減少
→氷床の標高が下がり融解が増大

大規模な海面上昇による影響(東京湾周辺)



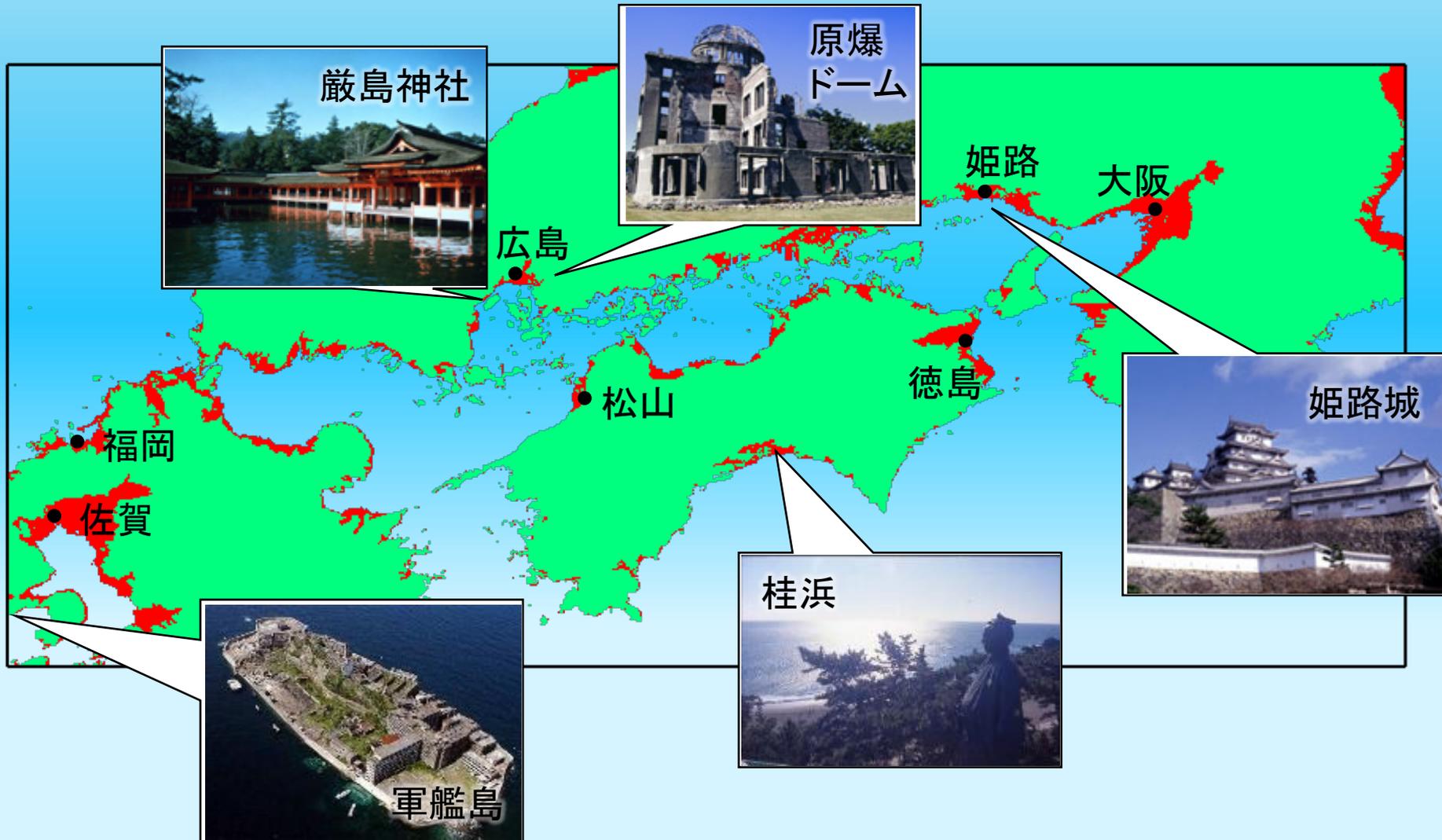
海面上昇でどこが浸水するの？

グリーンランド氷床が全融解し、7m海面上昇した場合(関東～東海地方)



海面上昇でどこが浸水するの？

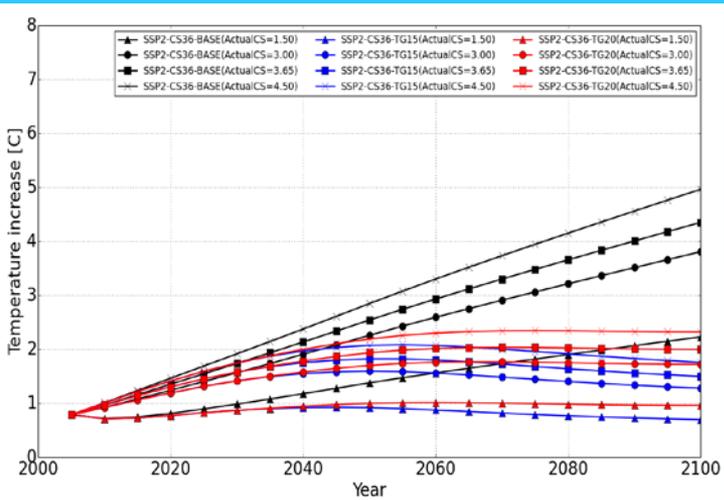
グリーンランド氷床が全融解し、7m海面上昇した場合（関西～九州）



グリーンランド氷床と北極海夏季の海氷が、2100年までにそれぞれのティッピングポイントを超える確率はどの位なのだろうか？

2通りの目標気温 (1.5°C, 2.0°C) と追加政策なしの計3つのシナリオに対して、グリーンランド氷床と北極海夏季海氷が、2100年までにティッピングポイントを超える確率を推定

「戦略」	目標温度水準 (工業化前比)	実際の気候感度
目標気温1.5°C (政策気候感度3.65)	1.5°C	1.5, 2.0, 3.65, 4.5
目標気温2.0°C (政策気候感度3.65)	2.0°C	1.5, 2.0, 3.65, 4.5
BAU (追加政策なし)		1.5, 2.0, 3.65, 4.5



*** 確率の推定には、以下の点は考慮されていない(または考慮が不十分である)事に注意.**

- 気候感度の確率分布は対数正規分布のみを仮定
- ティッピングポイントの確率分布は未知であるが一様分布を仮定
- ティッピングポイントの範囲は、現存の文献から言える範囲で定めている。
- 昇温量には統合評価モデルDICEの気候モジュール出力を用いており気候モデルの出力は利用していない。

既存文献(主にIPCC AR5)より、ティッピングポイントの範囲は以下に設定。
 グリーンランド氷床: 1.0~4.0°C, 北極海夏季海氷: 2.2~2.7°C

ティッピングポイントを超える確率

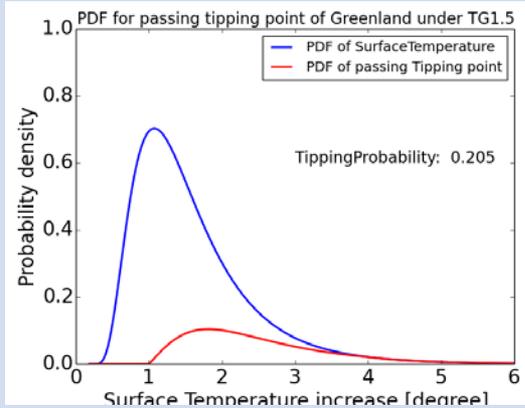
1.5度目標

2.0度目標

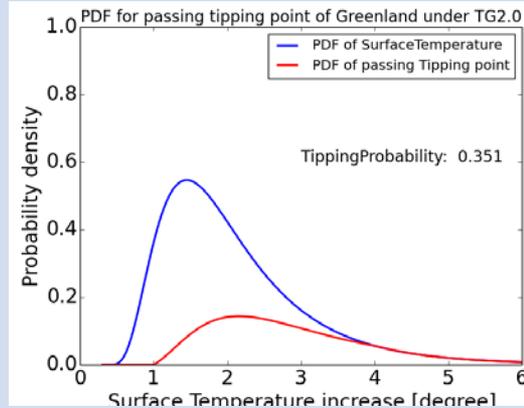
BAU

グリーンランド氷床

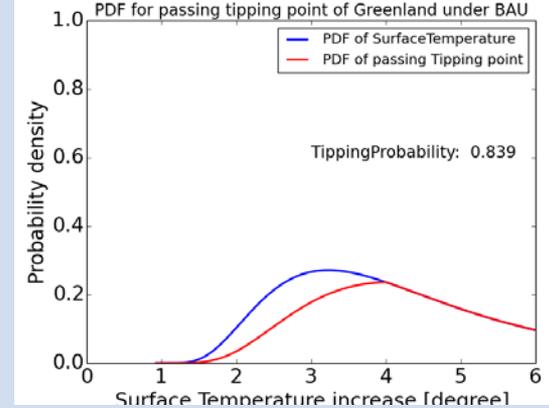
21%



35%

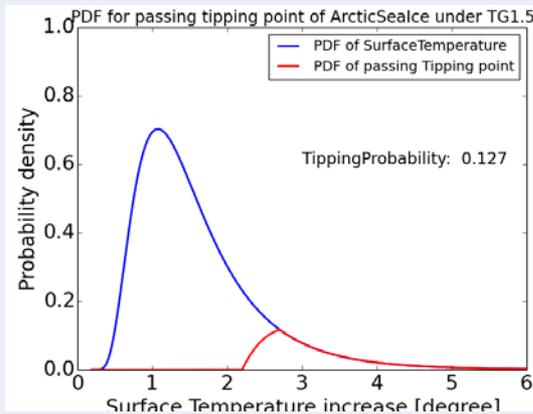


84%

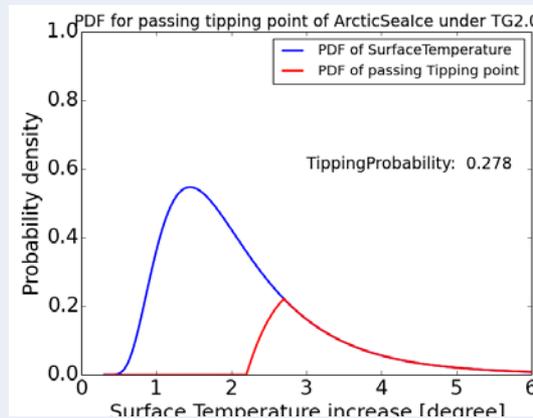


北極海夏季海氷

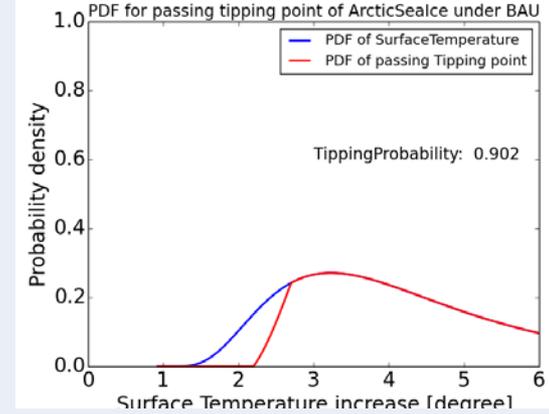
13%



28%



90%

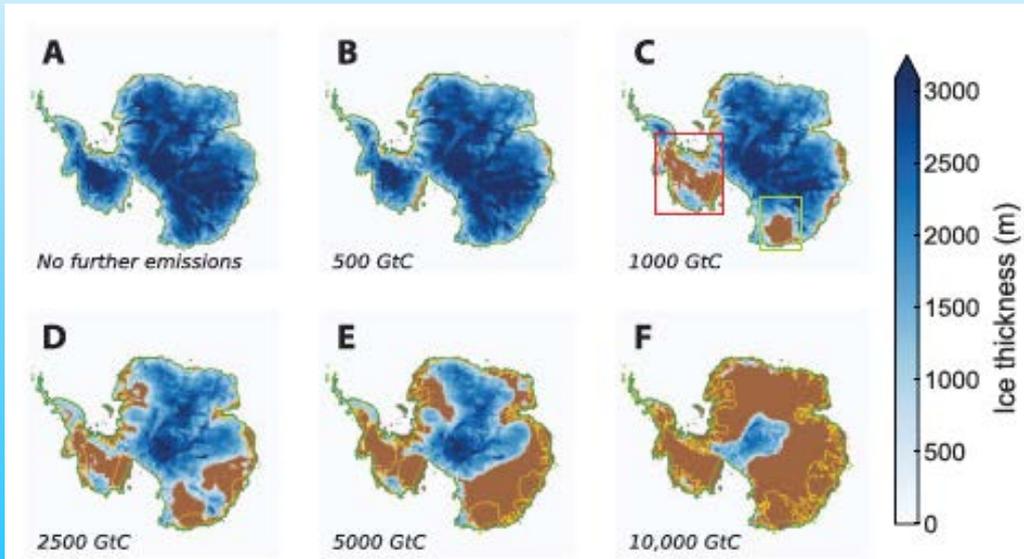


* 確率の推定には、前述の点は考慮されていない(または考慮が不十分である)事に注意.

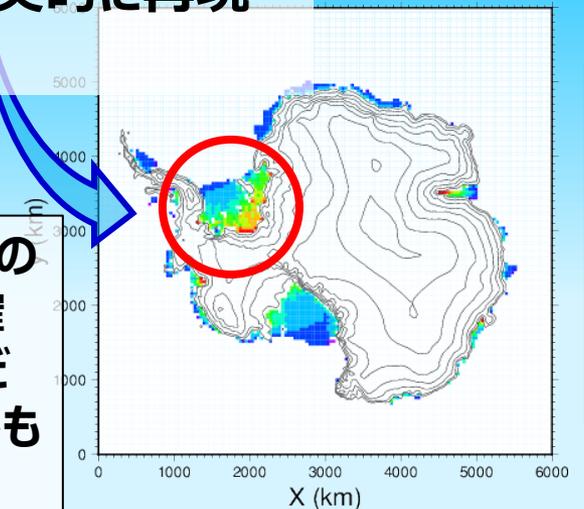
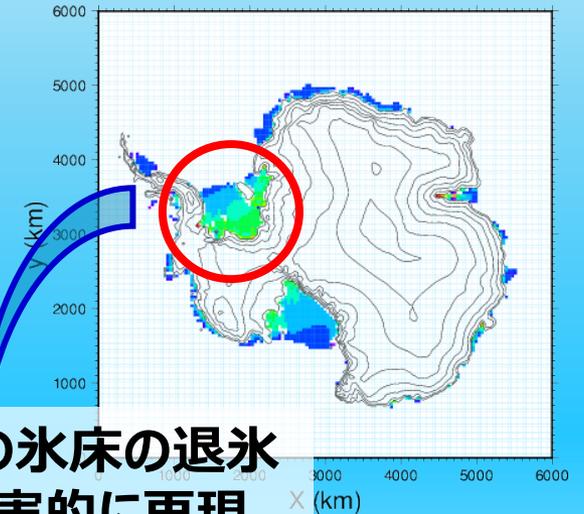
本プロジェクト(ICA-RUS)で研究対象 としているティッピングエレメント

- ✓ 西南極氷床の安定性
- ✓ 北大西洋熱塩循環と貧酸素水域の拡大
- ✓ メタンハイドレートの分解

西南極氷床の安定性

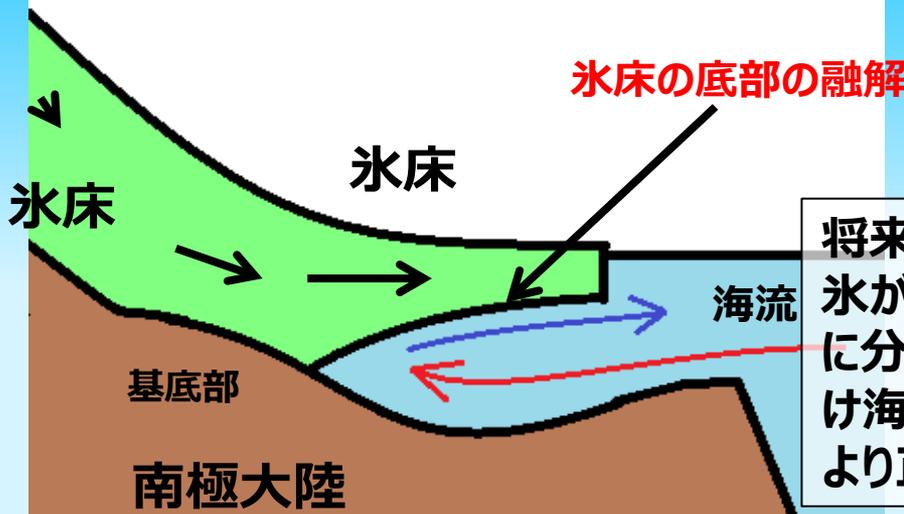


1万年後の南極氷床の厚さの変化
(Winkelmann et al. 2015)



氷床と棚氷、海洋との関係を調べ、
その関係をモデルに導入

海洋部の氷床の退氷
がより現実的に再現
できた!

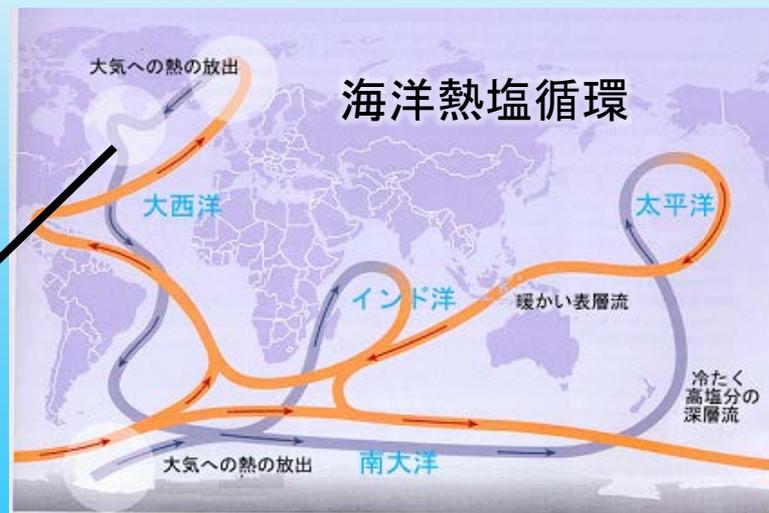
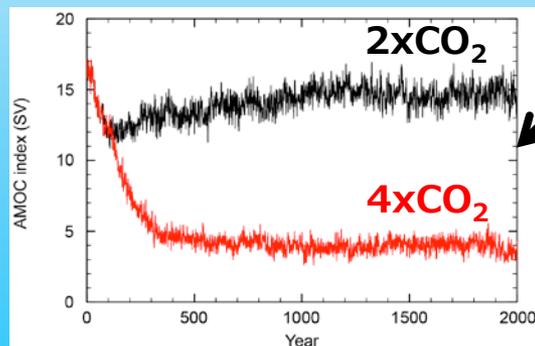


将来どれだけ南極の
氷が融けるか正確
に分ければ、どれだ
け海面上昇するかも
より正確に分かる!

北大西洋熱塩循環と貧酸素水域の拡大

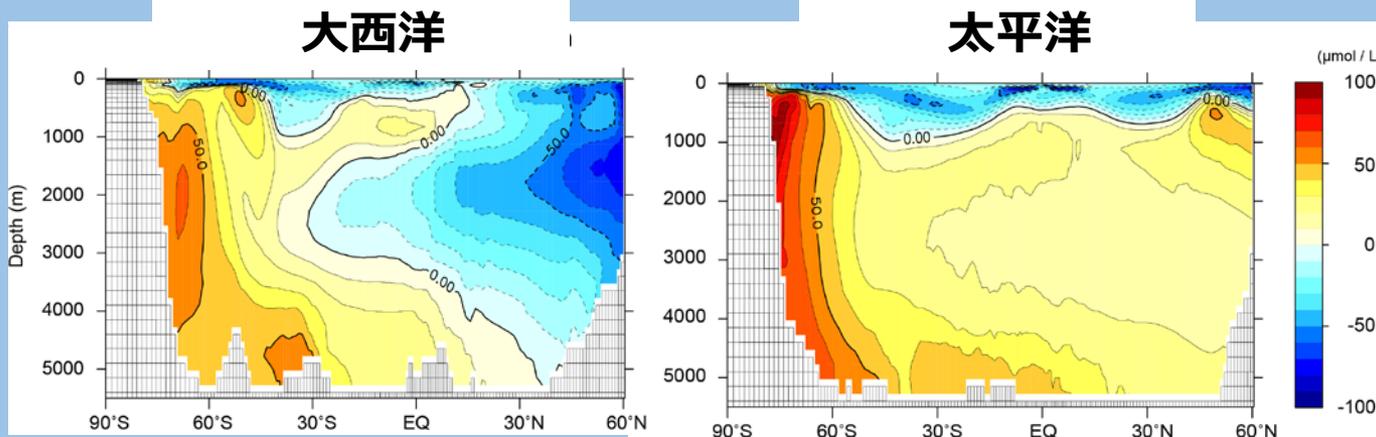
・温暖化により海洋中の酸素は1000年かけて30%程度減少すると簡易気候モデルが予測。

・大気海洋結合モデルの長期実験と、開発した海洋物質循環モデルを用いて、海洋中の酸素の長期変動を計算。



2000年後の酸素の変化 (Yamamoto et al. 2015)

・表層、亜表層では水温変化の影響で酸素が減少

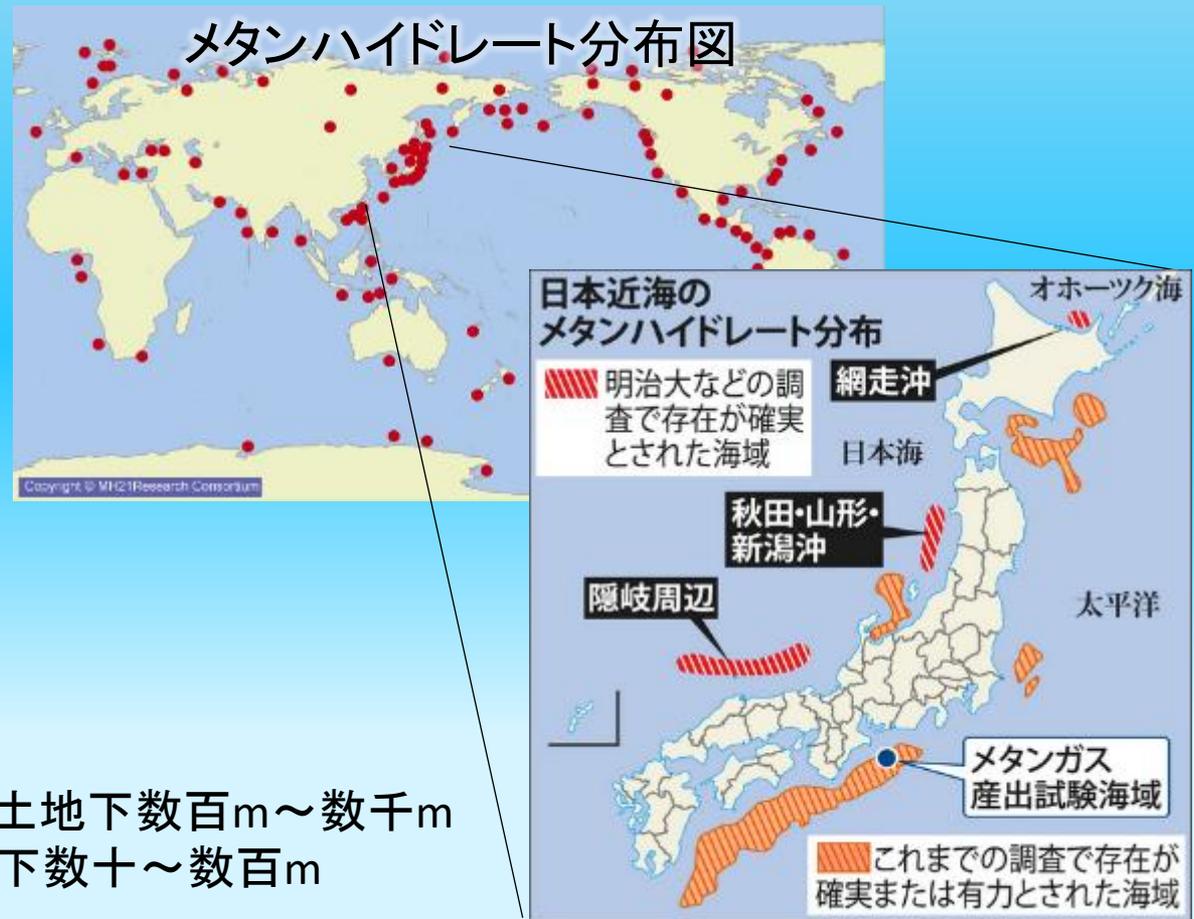
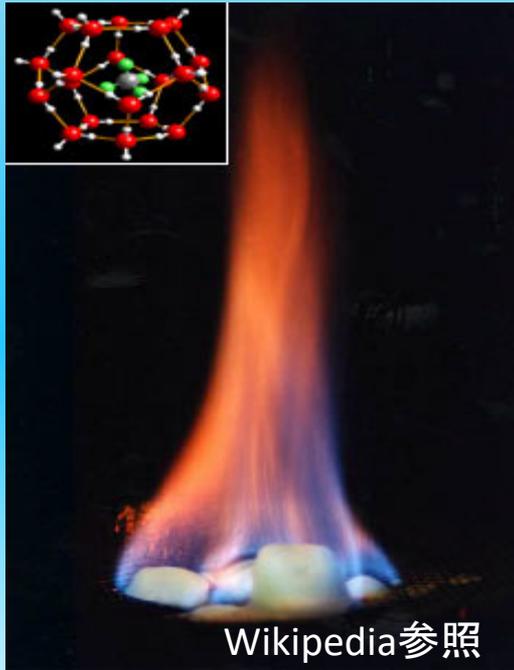


→ 酸素呼吸をする魚介類などが好む環境でなくなることで、生物生息域等に影響

【数千年～数万年スケールのティッピングエレメント】

メタンハイドレートの分解

メタンハイドレートとは・・・低温かつ高圧の条件下でメタン分子が水分子に囲まれた氷状の化石燃料。次世代のエネルギーとして期待されている。

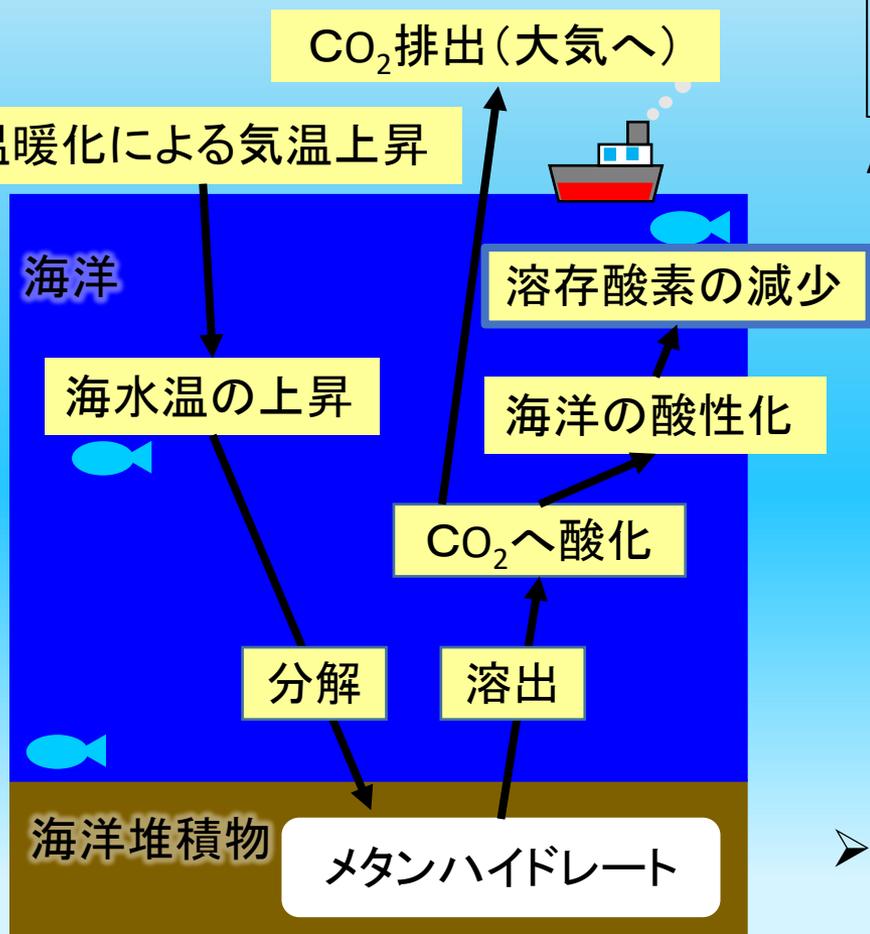


埋蔵域

- ✓ シベリアなどの永久凍土地下数百m～数千m
- ✓ 水深500～1000mの地下数十～数百m

【数千年～数万年スケールのティッピングエレメント】

メタンハイドレートの分解



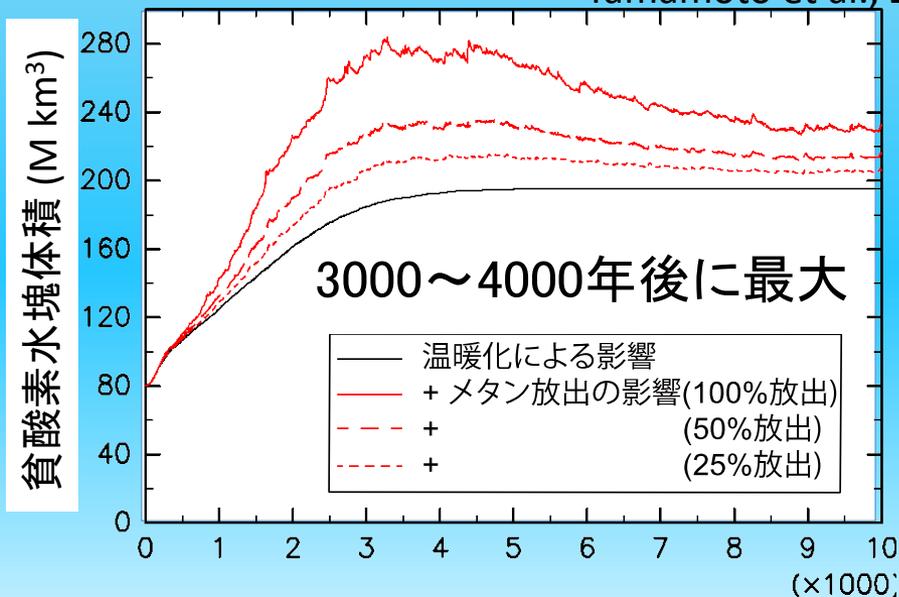
【影響】

- ・生物多様性
- ・漁業 など

Q: 酸化により海水中の溶存酸素が減少するが、どのくらいか？

A: 魚等が生息出来ない貧酸素域の拡大

Yamamoto et al., 2014



- メタンハイドレート2600GtC(現在)から800GtCへ減少
- その放出により貧酸素域が拡大(北太平洋1000m深付近)
- 大気CO₂が200ppm程度上昇の可能性

本日のまとめ

- 地球温暖化による様々なリスクとして、ティッピングポイント・ティッピングエレメントをご紹介した。
- パリ合意の気温幅でも発現する可能性があるティッピングエレメント(北極海夏季海氷の消失、アルプス氷河の消失、サンゴ礁の白化、グリーンランドと南極氷床の融解)がある。
- 何かしら気候変動政策(パリ合意など)をとらないと、発現可能性がかなり高くなるティッピングエレメントも存在する。
- ただし、かなり不確実性が高く、まだまだ発展途上の研究であるため、科学的な根拠をつかむ研究が今後必要。世界の温暖化研究へ寄与。