

気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略研究¹

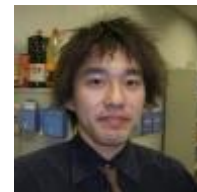
—S-14-1— 環境研究総合推進費 (S-14)

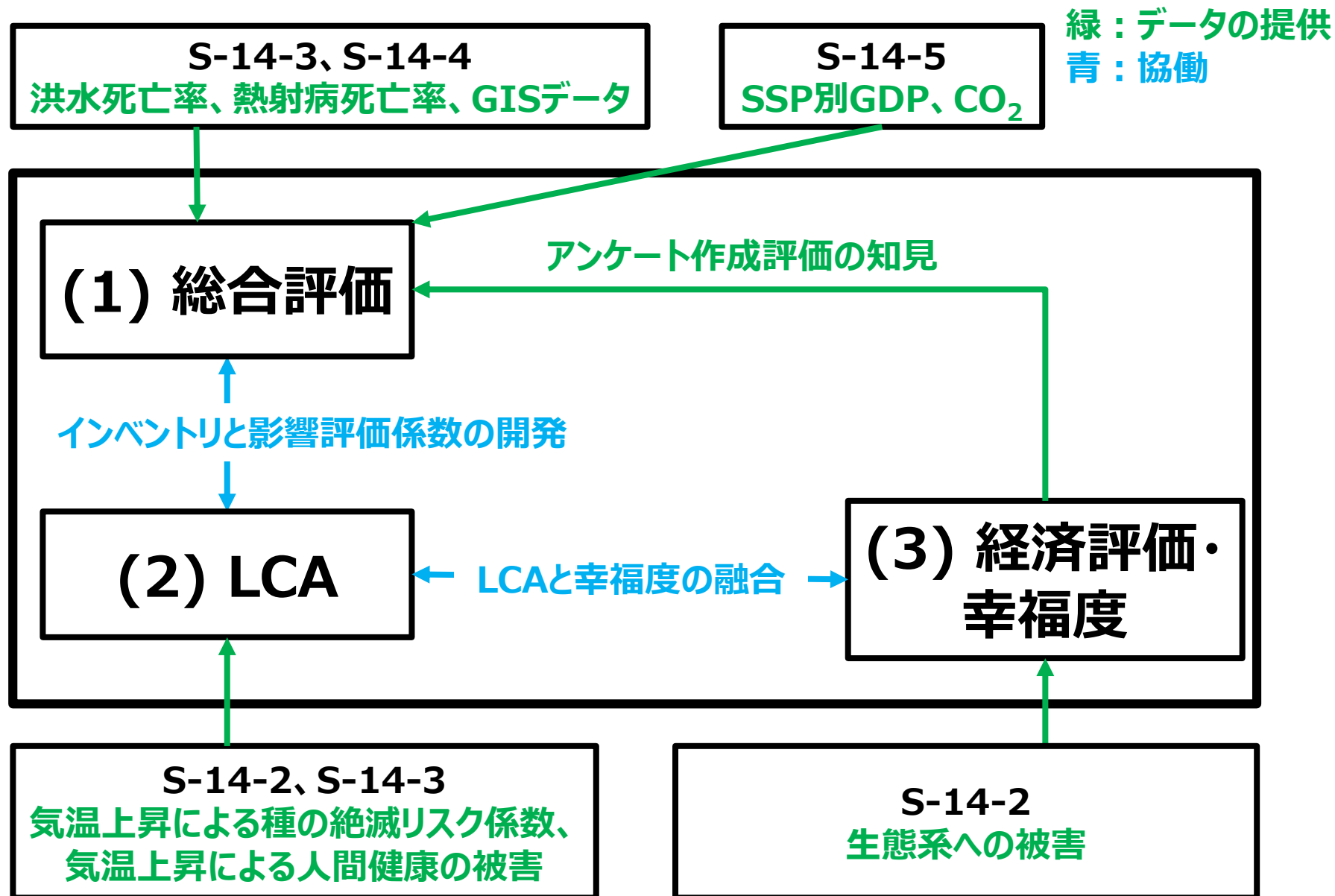


PL 東京大学生産技術研究所 沖 大幹
2020年07月21日、環境再生保全機構東京事務所

テーマ1：全体の総括と 統合的戦略評価

- 1-1: 多様な指標による気候変動対策
の統合的多面的な評価
- 1-2: ライフサイクルアセスメントによる気
候変動影響評価
- 1-3: 主観的幸福度なども活用した
気候変動対策の費用便益分析





主観的幸福度(SWB; %)の違い

今後生存率曲線を考慮する際に適応策による生存率の変化も加味する。

(*5% 有意)	河川堤防			海岸堤防			エアコン (自宅)			エアコン (会社)		
	有	無	差	有	無	差	有	無	差	有	無	差
男	56.0	56.3	-0.3	63.2	61.3	1.8	59.2	52.5	*6.7	57.6	50.9	*6.7
女	71.2	67.5	3.7	75.0	68.7	6.3	68.8	68.0	0.8	66.9	69.1	-2.2
差	15.2	11.2	4	11.8	7.4	4.5	9.6	15.5	-5.9	9.3	18.2	-8.9

♣ 男性は自宅でも会社でもエアコンによりSWBは*有意に増大。

❄ エアコン使用で熱中症による死亡リスク減少というメリットと、気候変動の促進、費用の発生というデメリットを考慮して政策提案に利用。

♣ 女性は特に海岸堤防に対してSWBが大きく(6.3)増大。

❄ 河川堤防に対しても女性はSWBが増大。

❄ 男性は河川堤防、海岸堤防に関して有意な変化なし。

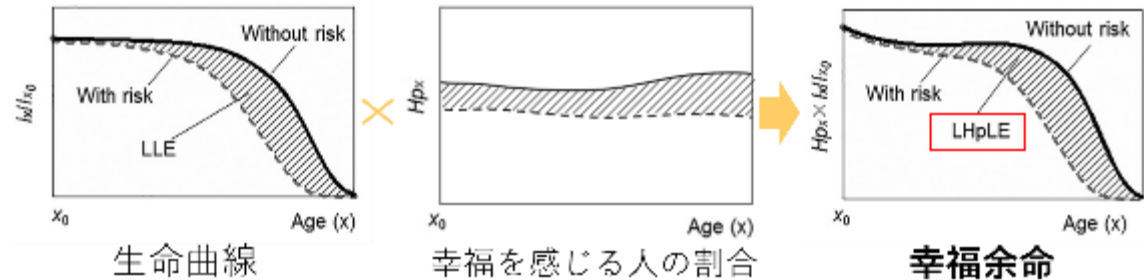
主観的幸福度を考慮した気候変動対策の定量評価

- エアコン使用量削減 → 緩和効果（例：熱中症、洪水の死亡リスク低下）
→ 主観的幸福度の低減？

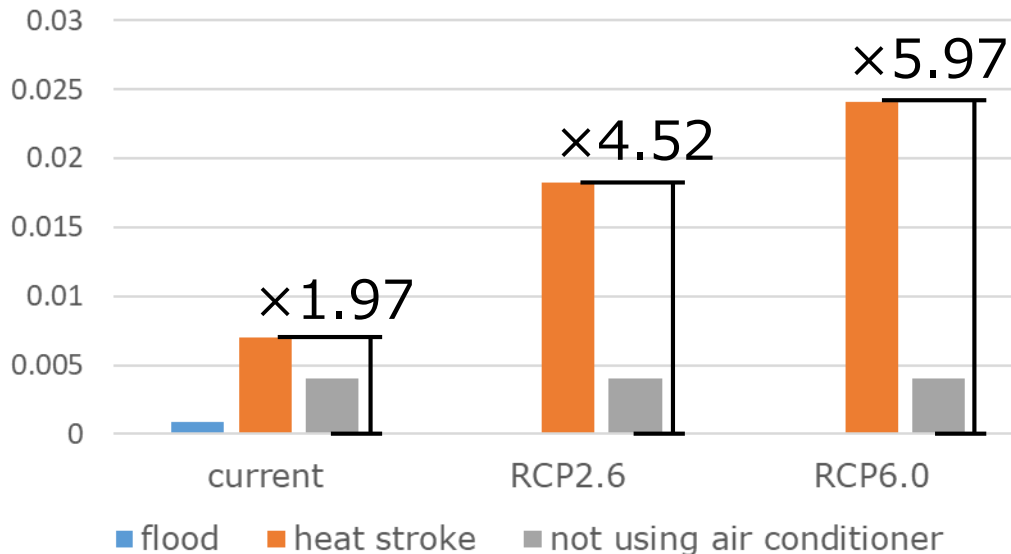
目的：上記下線部の影響を考慮した対策の定量評価

指標：**損失幸福余命**（右図）

「幸福に過ごせる余命の
イベント等による減少量」



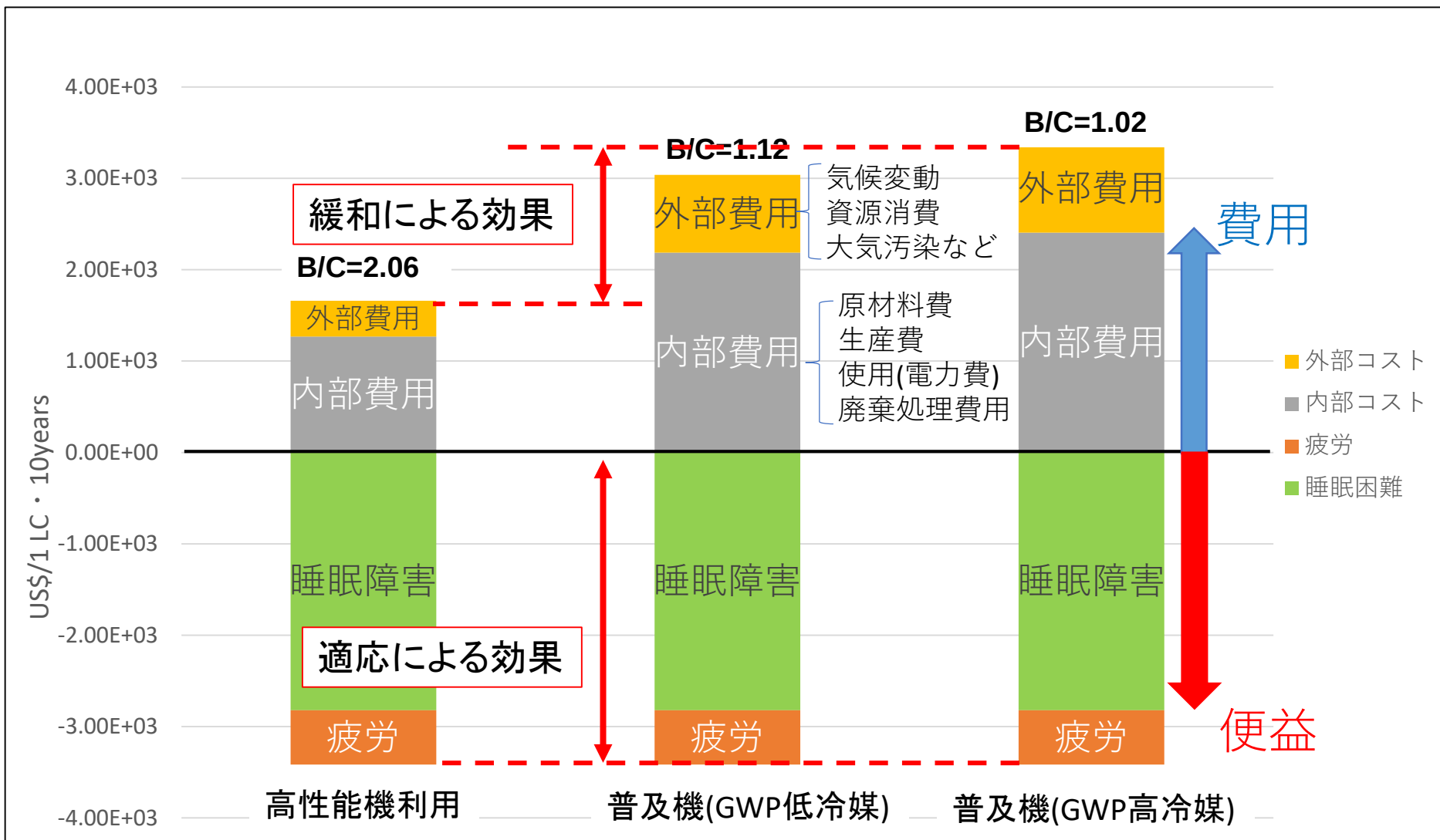
結果（エアコンは一年に一日使用を控えるという状況設定）：



- ✓ 現在気候でも、洪水や熱中症による死亡リスクの大きさはエアコン使用を1.97日控えた程度
- ✓ 気候変動が進んでも4.52日、5.97日にしか相当しない

Arai et al. (under rev.)

空調機を対象とした緩和と適応のLCA



- 緩和策(費用低減: LCAより算定)と適応策(便益: テーマ4より受領)を統合。
- 費用分の算定は内部費用(LCC: 原材料費等)と外部費用(LCA: 気候変動等)を利用
- 冷媒の変更により外部費用が2割、インバータ利用により6割の低減→コベネフィット

研究成果イメージS-14テーマ1

💧 1 億tCO₂を排出すると...

(2010年時点で日本では
年約9 tCO₂/人排出)

- ❄️ 全球平均気温が**0.0001度**上昇
- ❄️ 全世界で**XXXX年・人**の健康寿命が損失
- ❄️ 全世界で**70万人**の一年分の食料生産減
- ❄️ 全世界で自然災害被害が年**YYY億円**増加
- ❄️ 全世界で毎年**50種**が絶滅 (現時点では架空の数値)
- ❄️ 高潮災害リスクを増大を現状レベルに抑えるのに**500億円**必要
- ❄️ 洪水災害リスクを増大を現状レベルに抑えるのに**1200億円**必要

(RCP8.5、2050年頃を想定)

10億tのCO₂を追加的に排出すると…

💧 (100年間で)人間健康と生物多様性損失を通じて全世界に
約**5～9兆円**相当の損失

❄️ 1DALYあたり約**260万円**

➤ **130～200万人・年**の健康寿命損失≡**3.4～5.2兆円**

❄️ 1絶滅リスク指標(EINES)あたり約**1.3兆円**

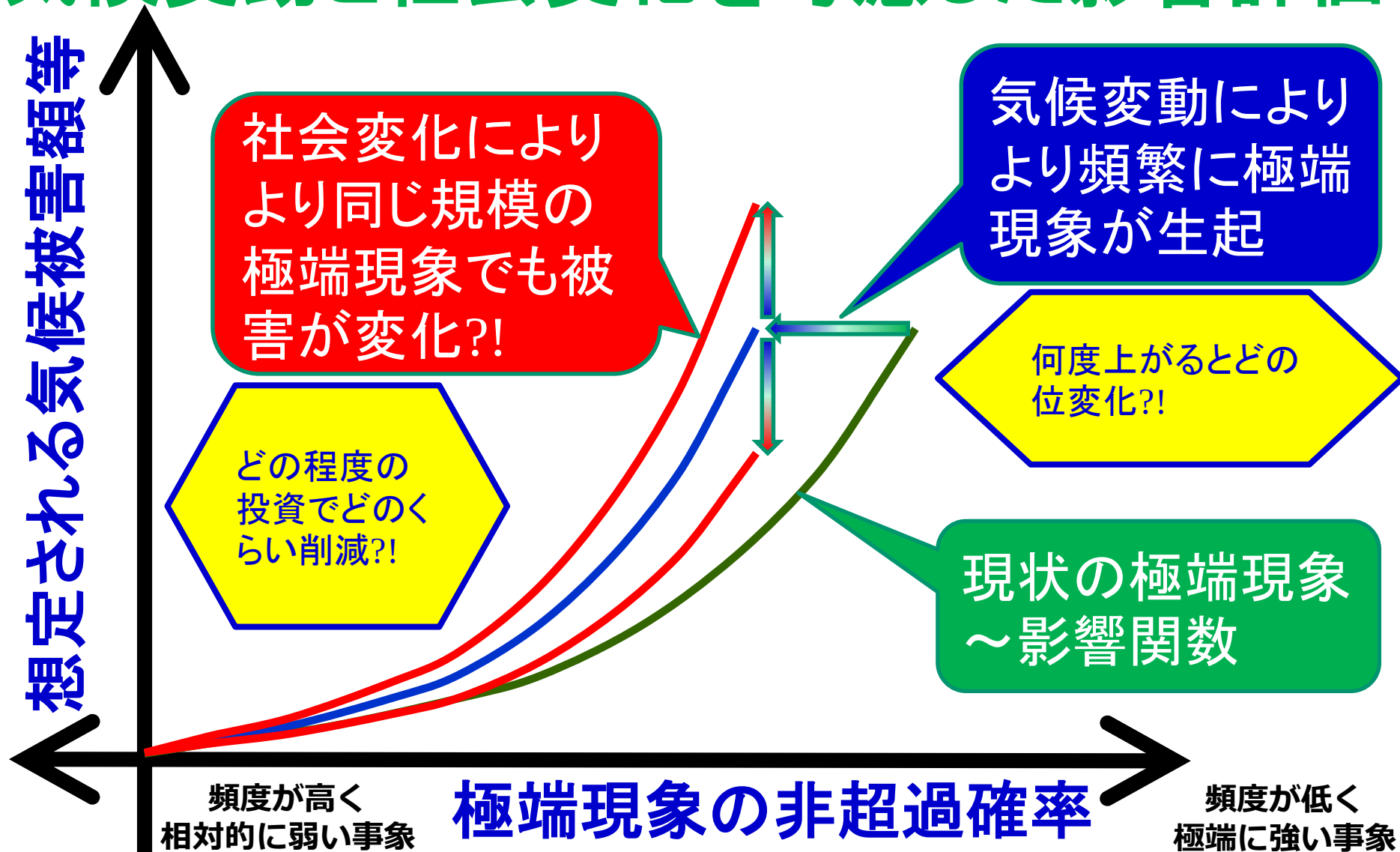
➤ **1～3EINES**≡**1.3～4兆円**

	単位	CO ₂
DF_人間健康	DALY/ton	$1.3 - 2.2 \times 10^{-3}$
DF_生物多様性	EINES/ton	$9.3 \times 10^{-10} - 3.0 \times 10^{-9}$
WF2_人間健康_世界平均 (LIME3)	US\$/DALY	2.3E+4
WF2_生物多様性_世界平均 (LIME3)	US\$/EINES	1.1E+10
IF2_世界平均	US\$/ton	40 - 84

1tのCO₂排出がもたらす
炭素の社会的費用≡約**5千～1万円**

総費用=緩和費用+適用費用+残余被害

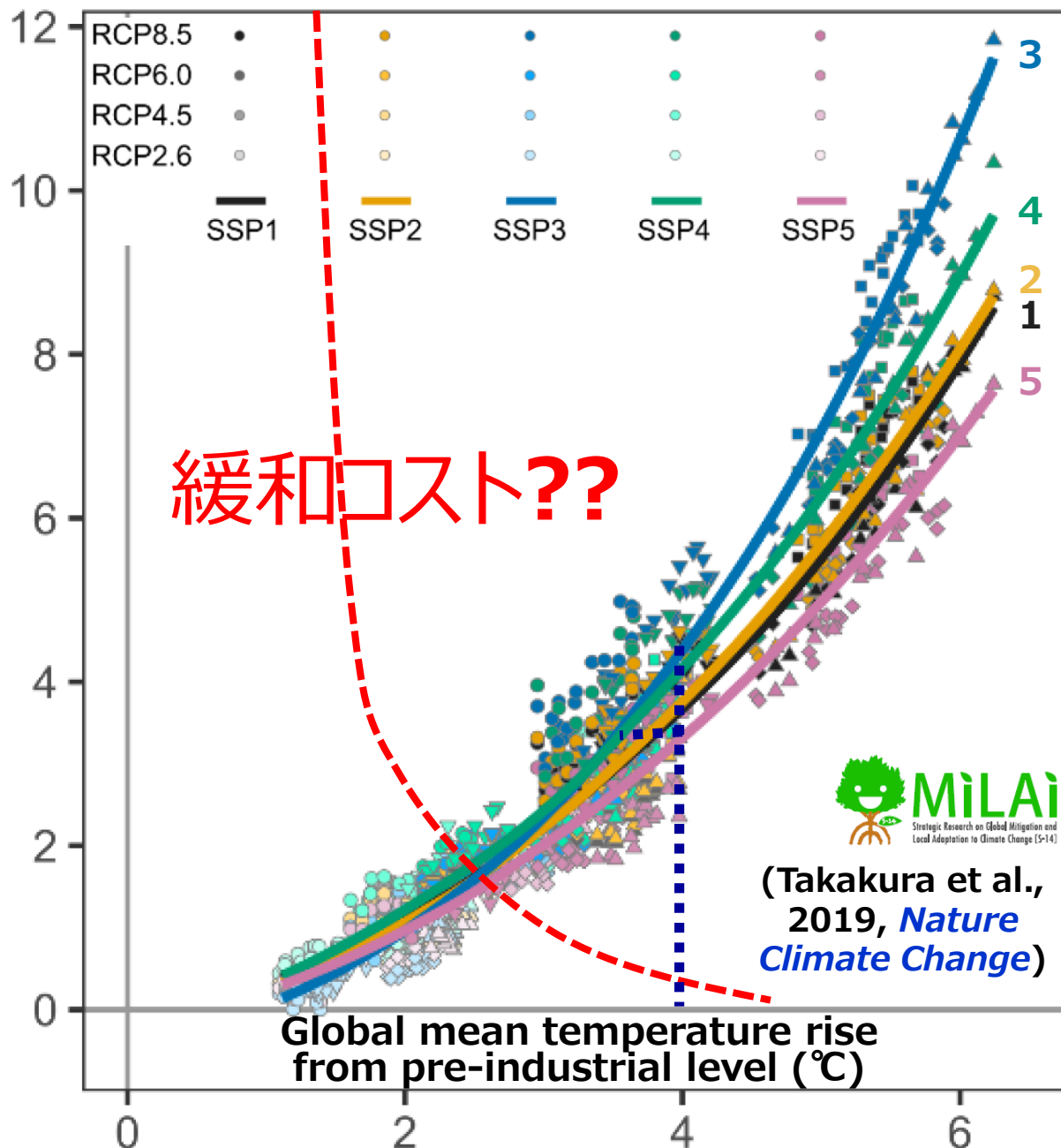
気候変動と社会変化を考慮した影響評価



全球平均気温上昇(°C)と、金銭換算した影響(GDP比%)

10

Aggregated monetized impact [% of GDP]



● 気候変動影響(熱関連超過死亡、農業生産性、水害、高潮、エネルギー、労働生産性)の経済評価。

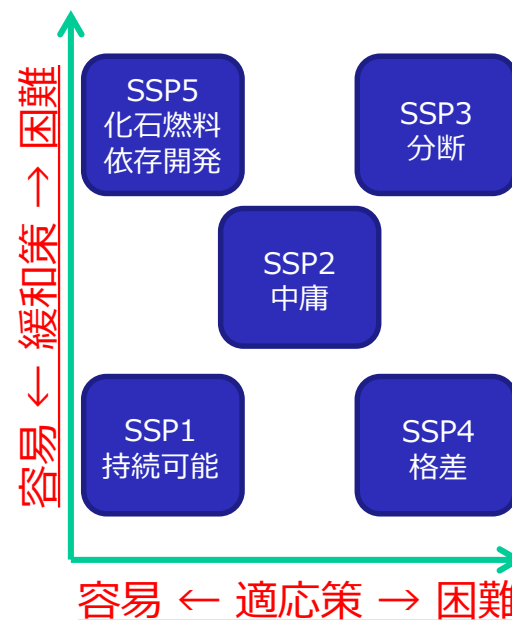
● 社会経済シナリオに依存

❄ SSP3はSSP5の1.5倍くらいの影響⇔0.5°C分相当?!

❄ 持続可能な社会の構築が鍵

● 被害額絶対値では逆順

❄ 指標の選択も重要



気候変動の総コスト

💧 **17の各地域(i)は以下のコスト関数をもつ**

$$\begin{aligned} \text{総コスト}_i(q_i, Q, x_i) &= \text{緩和コスト}_i(q_i) \\ &+ \text{適応コスト}_i(Q, x_i) \\ &+ \text{適応後の残余被害}_i(Q, x_i) \\ &+ \text{その他経済被害}_i(Q) \end{aligned}$$

q_i : 地域 i の緩和量
 Q : 緩和量の合計
 x_i : 適応レベル

💧 **AIMの結果(Takakura et al., 2019)に基づき、**
 気温上昇量 $\Delta T_t = f(t, Q)$ 、緩和コスト $= m(q_i)$ 、
 経済被害 $= e(\Delta T_t)$ 、適応コスト $= x_i \times a(\Delta T_t)$ 、
 残余被害 $= (1 - x_i) \times e(\Delta T_t)$ 、
 その他経済被害 $= g(\Delta T_t)$
 を近似式で決定。なお、 t は年。

緩和と適応のベストミックス

- ▶ Grandシナリオでは、すべての地域 i が世界全体の総コストが最小となる様に緩和量 q_i を決める。
- ▶ そのうえで、適応コストと残余被害の和が最小となる様に各地域 i は、適応レベル x_i を定める。
- ▶ 河川洪水、沿岸浸水、農業生産(トウモロコシ、ダイズ、コメ、コムギ)についてのみ適応を考慮。
- ▶ 適応を考えない「その他経済被害」は、冷暖房需要、熱関連超過死、水力発電、火力発電、労働生産性、栄養失調
- ▶ 2010年～2100年の総コストを算出。

評価項目と算定根拠の一覧

部門	被害	シナリオ	金銭化	出典
農業生産性 ✓	GDP変化	5SSP×4RCP×5GCM	USD2005 (PPP)	Fujimori et al. (2018) <i>Sustainability</i>
飢餓 ✓	GDP変化 死亡数（VSL）	5SSP×4RCP×5GCM	17地域別に集約 VSLは国・年ごとに異なる（1人当たりGDPが多いほどVSLの値も大きい） OECD（2012）の指針に準拠	Hasegawa et al. (2016) <i>Climatic Change</i>
熱関連超過死亡 ✓	死亡数（VSL）	5SSP×4RCP×5GCM		高橋ら（2018）土木学会論文 集G（環境）
冷暖房需要 ✓	GDP変化	5SSP×4RCP×5GCM		Park et al. (2018) <i>Environ. Res. Letters</i>
労働生産性 ✓	GDP変化	5SSP×4RCP×5GCM		Takakura et al. (2017) <i>Environ. Res. Letters</i>
水力発電 ✓	GDP変化	5SSP×4RCP×5GCM		Zhou et al. (2018) <i>Climatic Change</i>
火力発電 ✓	GDP変化	5SSP×4RCP×5GCM		Zhou et al. (2018) <i>Energies</i>
河川洪水 ✓	被害額（EM-DAT） 死亡数（VSL）	5SSP×4RCP×5GCM		Kinoshita et al. (2018) <i>Environ. Res. Letters</i>
海面上昇 ✓	被害額（EM-DAT） 基本的に上記論文に基づいているが、SSP4・SSP5の結果についてはTakakura et al. (2019) Nature Climate Change が初出	3SSP×4RCP×4GCM （5×4×3に補間して利用）		Tamura et al. (2019) <i>Climatic Change</i>
部門	被害	シナリオ	金銭化	出典
緩和費用 ✓	GDP変化	5SSP×4RCP （存在しない組合せあり）	USD2005 (PPP)	Fujimori et al. (2017) <i>Global Environ. Change</i>

手法はHonda et al. (2014) *Environ. Health Prev. Med* に準拠

ベースラインの定義は、この論文とは異なる

✓：本統合評価で利用した項目(LIMEとは重複なし)

評価項目と算定根拠の一覧

		被害	評価範囲 (年次/地域)	シナリオ	出典	金銭化方法 (年次/地域)	出典
人間健康	栄養失調	死亡、障害	2100/全球	SSP	WHO (2014)	WTP(2013/なし)	LIME3 (Murakami et al. 2018)
	下痢	死亡、障害	2100/全球	SSP	WHO (2014)	WTP(2013/なし)	LIME3 (Murakami et al. 2018)
	✓ 熱ストレス	死亡、障害	2100/全球	SSP	WHO (2014)	WTP(2013/なし)	LIME3 (Murakami et al. 2018)
	マラリア	死亡、障害	2100/全球	SSP	WHO (2014)	WTP(2013/なし)	LIME3 (Murakami et al. 2018)
	✓ デング熱	死亡、障害	2100/全球	SSP	WHO (2014)	WTP(2013/なし)	LIME3 (Murakami et al. 2018)
	✓ 沿岸洪水	死亡、障害	2100/全球	SSP	WHO (2014)	WTP(2013/なし)	LIME3 (Murakami et al. 2018)
生物多様性	✓ 維管束植物	種の絶滅	2100/全球	RCP	分布予測(森林総研)	WTP(2013/なし)	LIME3 (Murakami et al. 2018)
社会資産	✓ サンゴ礁	分布面積	2070/global	RCP	Couce et al. 2013	WTP(2011,なし)	Costanza et al. 2014
	✓ 土地水没	水没面積	2100/global	RCP	Tamura et al. 2019	WTP(2011,なし)	Costanza et al. 2014
	穀物減産	生産量	2100/global	RCP/SSP	Iizumi et al. 2017	市価(2015?/地域)	本研究
	海岸洪水	被害額(EM-DAT)	2100/global	RCP/SSP	Tamura et al. 2019	市価(不特定/地域)	Tamura et al. 2019
	エネ消費	電力,灯油,都市ガス	2100/global	RCP/SSP	Hasegawa et al. 2016	市価(2015?/地域)	本研究
	内陸洪水	被害額(EM-DAT)	2100/global	RCP/SSP	Kinoshita et al. 2018	市価(不特定/地域)	Kinoshita et al. 2018
	労働生産性	追加的賃金	2100/global	RCP/SSP	Takakura et al. 2017	市価(不特定/地域)	Takakura et al. 2017

✓: 本統合評価で利用した項目
(AIMと重複項目については未使用)

注: 割引率は未考慮
不確実性は未考慮

統合解析

💧 LIME3のWTPによって経済換算して統合

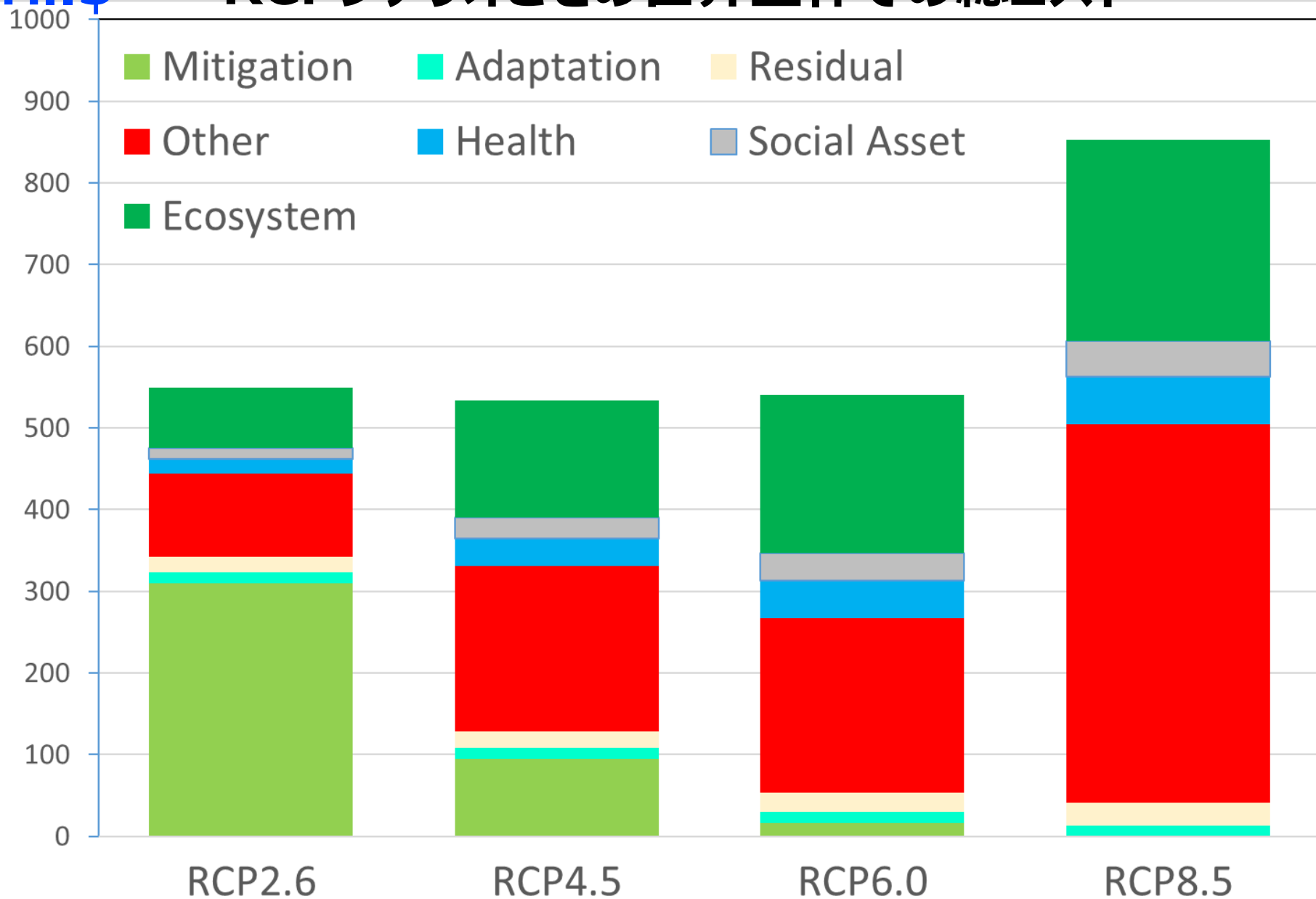
- ❄️ 低栄養、下痢、マラリア、デング熱による健康被害(DALY)。
- ❄️ 土地やサンゴ礁など社会資産の損失もWTP
- ❄️ 生物多様性損失(EINES)

DF	単位	係数	ばらつき、誤差範囲
人間健康 世界平均	US\$/DALY	2.3E+4	± 7,900
生物多様性 世界平均	US\$/EINES	1.1E+10	± 1.1E+9
社会資本	US\$/US\$	2.5	± 0.88

❄️ 先進20カ国(G20)へのパネル調査から人口重み付けで決定。

💧 推計値については精査中のものもあり、今後変更の可能性もある。割引率を考慮した値も推計中。

RCPシナリオごとの世界全体での総コスト



おわりに

💧 テーマ間の連携により統合的な成果

- ❄️ テーマ2、3、4の成果がテーマ5(AIM)に組み込まれ、テーマ1-2のLCAの基礎データともなった。
- ❄️ AIMの推計とLCAによる推計の補完的な利用で、気候変動に伴う総コストのより包括的な算出が可能となった。
- ❄️ 緩和策と残余被害以外に、適応コストを組み込んだ推計も可能となった。
- ❄️ 土地やサンゴ礁の喪失や生物多様性の損失も含めると、世界全体が協調する場合にはRCP2.6が最適(SSP2)。

💧 さらなるとりまとめ

- ❄️ SSPの違いによる最適なRCPシナリオの違いの検討
- ❄️ 各地域が協調しない場合のゲーム理論的考察



<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/>



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

AR6の作成、パリ協定発効後の世界における政策立案支援に貢献します。



AR5-WGII SPM



<http://s-14.iis.u-tokyo.ac.jp/>

ご清聴ありがとうございました

