

# 概要と成果

## プロジェクト PHOENIX 2002-2006

森 俊介  
RITE システム研究グループ  
東京理科大学

*IIASA-RITE Symposium 2007*

# プロジェクト PHOENIX

- Paths toward Harmony Of Environment,  
Natural resources and Industry complex –

- 地球環境産業技術研究機構にて実施
- 経済産業省 地球環境国際研究推進事業の一環である「国際産業経済の方向を含めた地球温暖化影響・対策技術の総合評価」
- 2002-2006 5年間のプロジェクト

# 地球温暖化政策における諸問題

- 温暖化影響、緩和コスト、適応の可能性いずれも多岐にわたる。
- 総合すると、どのような温暖化対応策が望ましいと言えるのか？
- 気候変動は、社会の持続可能性、開発、衡平性 (DES) にどのように影響するのか？
- 気候変動影響の不確実性を考慮すると、現在の政策と技術戦略に対し、どのように影響するのか？
- 社会・経済・産業の構造変化は、温暖化政策とどのように関連しあっているのか？

# 温暖化影響要因の多様性

## - 複眼的接近と総合化手順の必要性 -

- 高不確実性、非可逆的(ほぼ非可逆的), 長期的影響 : 破局的  
事象
  - THC崩壊、西部南極氷床崩壊、グリーンランド氷床融解、メタンアウトバースト
  - 影響の発生、危険性についてはなお不確実性が高い

→ どのような予防的措置が今日必要なのか?
- 発生の可能性が高く、地域性、適応可能性の考えられる中  
短期的影響
  - 気候変動、海面上昇と農作物影響、生態系、土地利用、水資源、健康影響、産業影響他
  - 金銭評価は必ずしも適用可能とは限らない
  - 適応策の可能性と効果も多様性がある
  - 可逆的影響と非可逆的影響が含まれる

→ 総合して、どのような温暖化政策が望ましいのか?

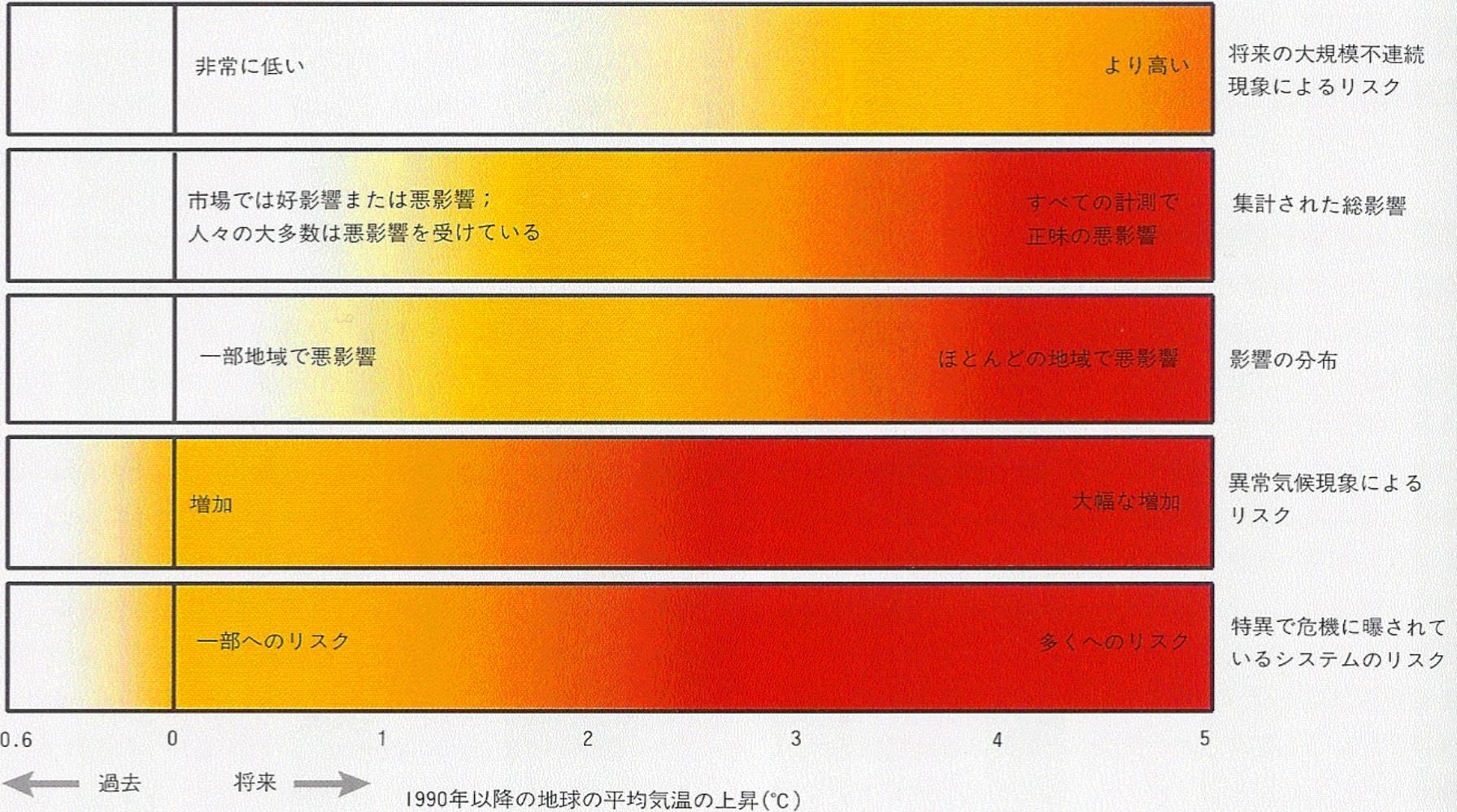
# 温暖化影響の多様性の分類 ; IPCC-TAR

	影響及び事象	特性
Type-1 事象群	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 高齢者、都市部貧困層に対する疾病の増加</li> <li>- 家畜・野生動物に対するヒートストレスの増加</li> <li>- 旅行目的の変化</li> <li>- 多くの農作物の被害とリスクの増大</li> <li>- 空調需要の増加</li> <li>- 害虫・病原菌媒介動物の範囲の拡大と増加</li> <li>- 洪水、地すべり、雪崩、泥流、表流水による土壌流出、浸食の増加</li> <li>- 穀物生産性の低下</li> <li>- 水資源の質・量的低下</li> <li>- 森林火災の増加</li> <li>- 生物種の減少</li> <li>- 生態圏全体への様々な影響</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 連続的な影響水準の上昇とリスク増加</li> <li>- 高い地域性</li> <li>- 適応策適用可能性と費用の多様性</li> <li>- 発生と影響レベルの不確実性</li> <li>- 損害と脆弱性の増加</li> <li>- 非可逆的と可逆的影響の混在</li> </ul>
Type-II 事象群	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 熱塩循環(THC)の停止,</li> <li>- 西部南極氷床(WAIS)の崩壊</li> <li>- グリーンランド氷床の融解</li> <li>- メタンアウトバースト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 不連続的影響</li> <li>- 非可逆的影響</li> <li>- 発生と、発生の時期の高い不確実性</li> <li>- 適応策が期待できない</li> </ul>

# 既存の統合評価法における問題点

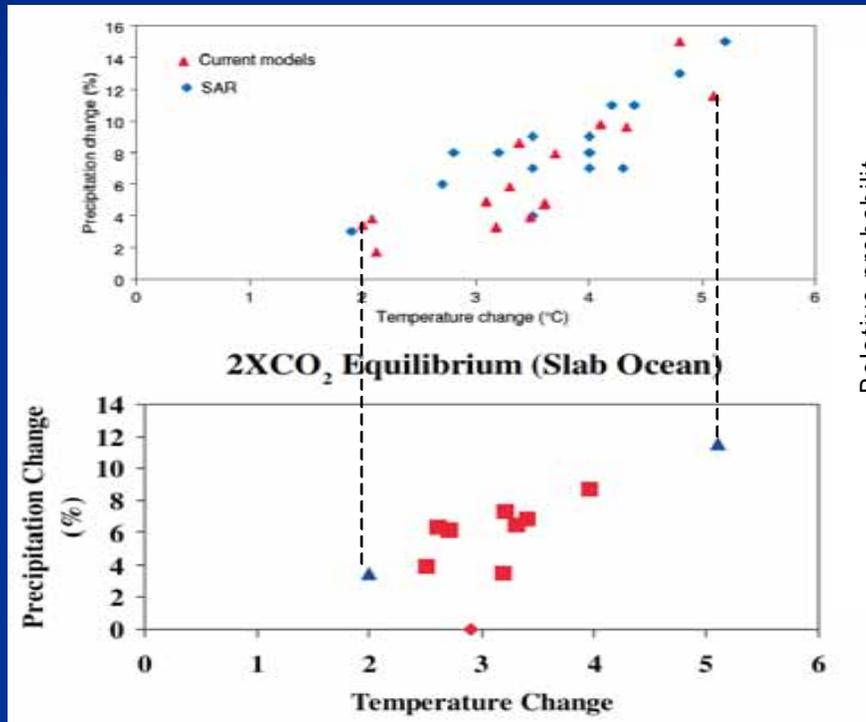
- 地域の温暖化損失を金銭換算し積み上げる方法では「脆弱な地域への考慮」が十分になされていないと言えるか？
- 金銭換算は、Type-IIのような破局的事象や生物種多様性の喪失のような問題に適用可能か？
- どのような温暖化影響を、どのように専門家は見ているのか？

# 温暖化のリスク評価の例：IPCC-TAR

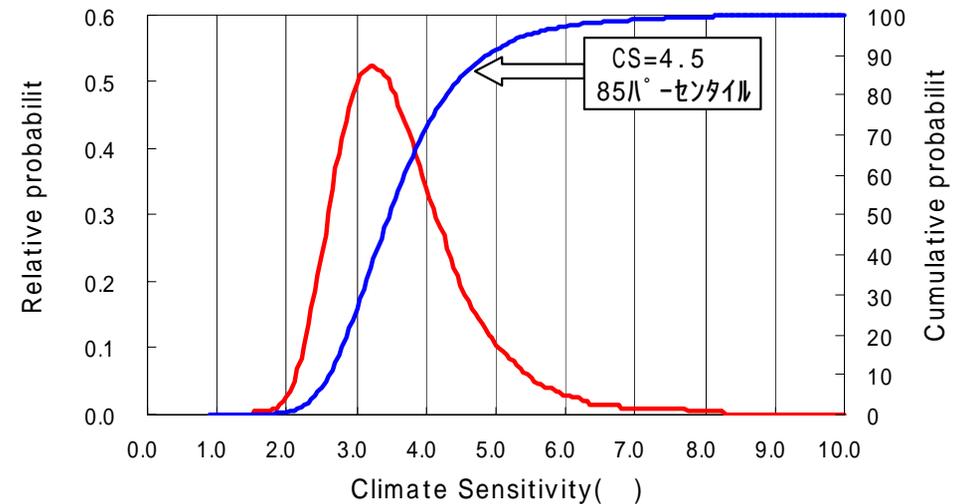


# 気候システムに関する不確実性と温暖化政策

気候科学の進展のもとでもなお、AOGCMの気候感度には不確実性が残り、温度上昇上限を政策目標とするには困難が残る



主要な気候モデルの気候感度



Murphyら(2004)による気候感度の確率分布(赤)と累積確率(青)

上図: SAR(青)とTAR(赤) 下図: TARでの最大、最小値(青)とWS2004での結果(赤)

# PHOENIXプロジェクトの目標

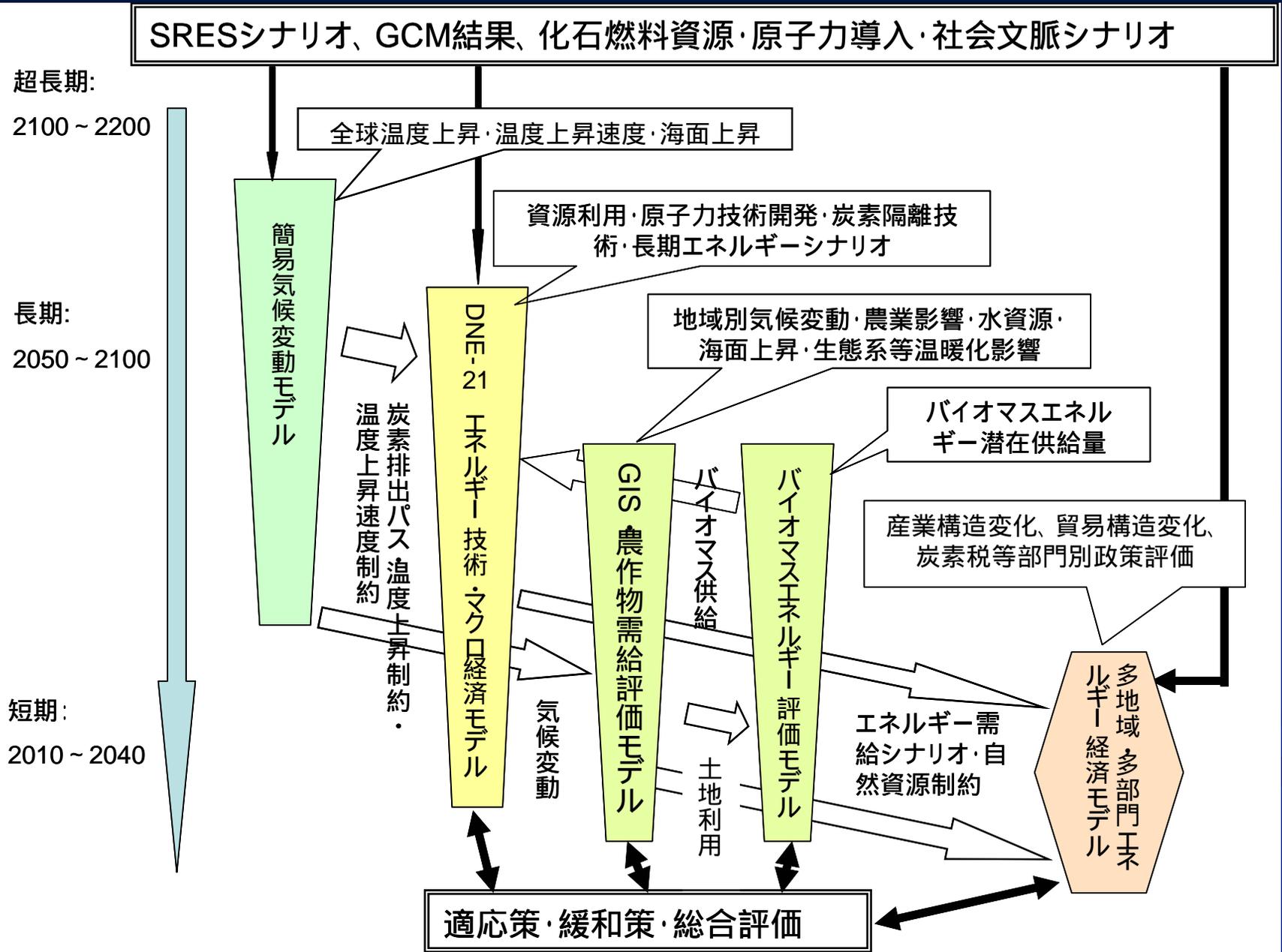
- 統合評価モデル (IAMs) は1990年代以来盛んに開発されてきたが、解決すべき課題も多い。
- 温暖化影響と対策オプション
  - (1) 長期、不確実、非可逆的破局的事象(THC崩壊など)
  - (2) 中短期的な地域間・世代間の技術・社会・経済と政策の相互関連を包括的に評価
- 経済のグローバル化、都市化、ITの進展、産業構造変化などの社会の大きなトレンドは、これまでの環境政策の議論で十分に扱われてきていない。

# 本事業における総合評価の枠組み・手順

- 
- (1) 将来の基準排出パスと排出抑制パス(濃度安定化排出パス)の設定(-2200)
  - (2) 排出パスに対応した気候変動量の予測計算
  - (3) 気候変動量に対応した各種温暖化影響の定量評価(21世紀を対象)
  - (4) 基準排出パスから排出抑制パスへの排出抑制策(温暖化緩和策)・コストの評価(中短期評価)
  - (5) 総合評価  
上記評価結果から最も適切と考えられる目標排出パスを専門家が総合的に判断

価値判断を最終ステップにまとめて行う  
途中段階での金銭評価は無理に行わない

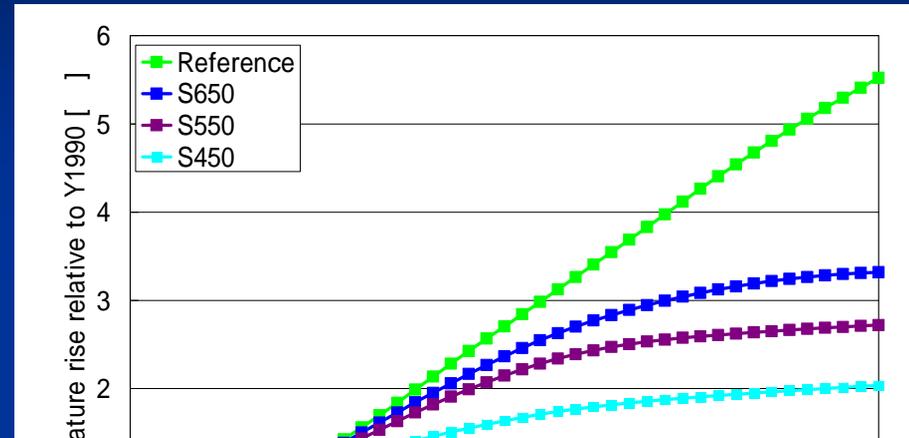
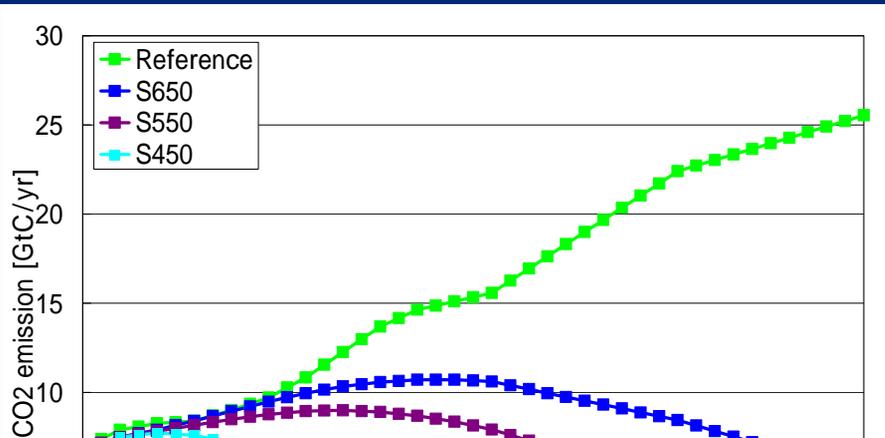
# PHOENIXプロジェクトにおける評価手順とモデル開発のフロー



# 温暖化ガス基準排出経路と排出抑制経路のシナリオ設定

- 温暖化ガス基準排出経路は SRES (B2、A1FI、A1B) をDNE-21モデルを用い 2200 まで延長して策定
- 温暖化ガス排出抑制経路は、IPCC WG1 濃度安定化経路と整合するよう設定
- MAGICCをもとにMIROC-HR (AOGCM)のシミュレーション結果を補間して気候変動シナリオを導出

# CO2 排出経路と気候変動シナリオの設定



CO2濃度表記についての補足:

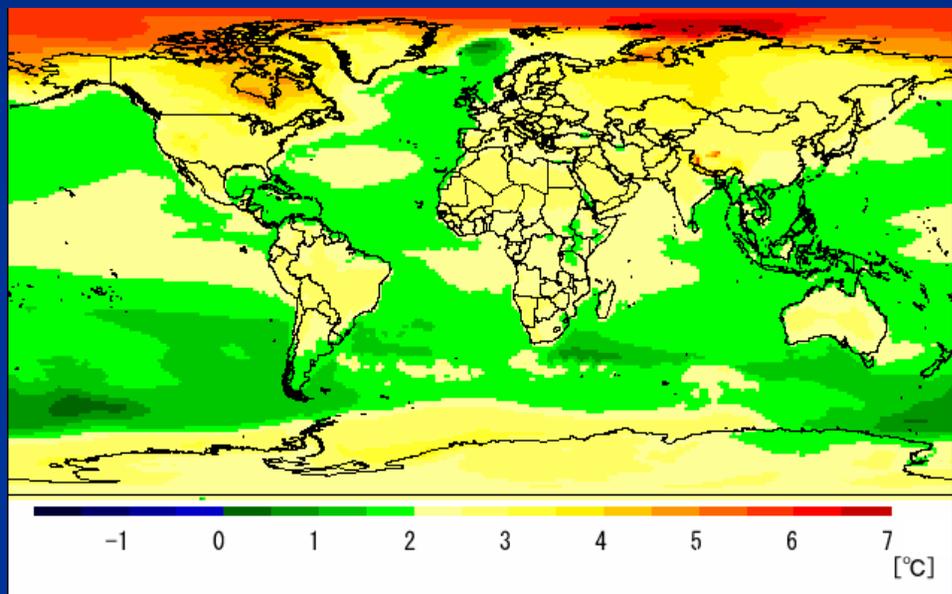
CO2換算濃度は、放射強制力を基準にCO2以外の温暖化ガス(CH4, N2O, など)を含む。これらはCO2濃度にしておよそ50-70ppmv程度に相当。 温暖化の基準として便利

CO2のみ: 温暖化緩和政策の基準として便利

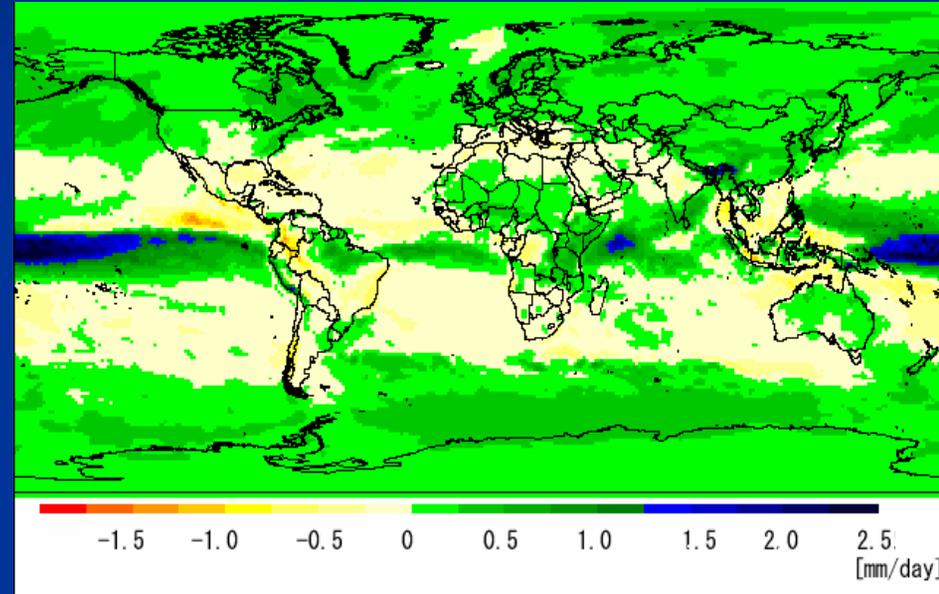
PHOENIX では政策重視の視点から主に後者に焦点を当てる。  
非CO2温暖化ガスの排出、緩和とも不確実性が高いためである。

# CO2 排出経路と気候変動シナリオの設定

簡易気候変動モデルMAGICC結果とAOGCMシミュレーション結果を用い気候変動の地域分布シナリオを導出



(a) 大気温上昇(1990年基準)



(b) 降水量変化(1990年基準)

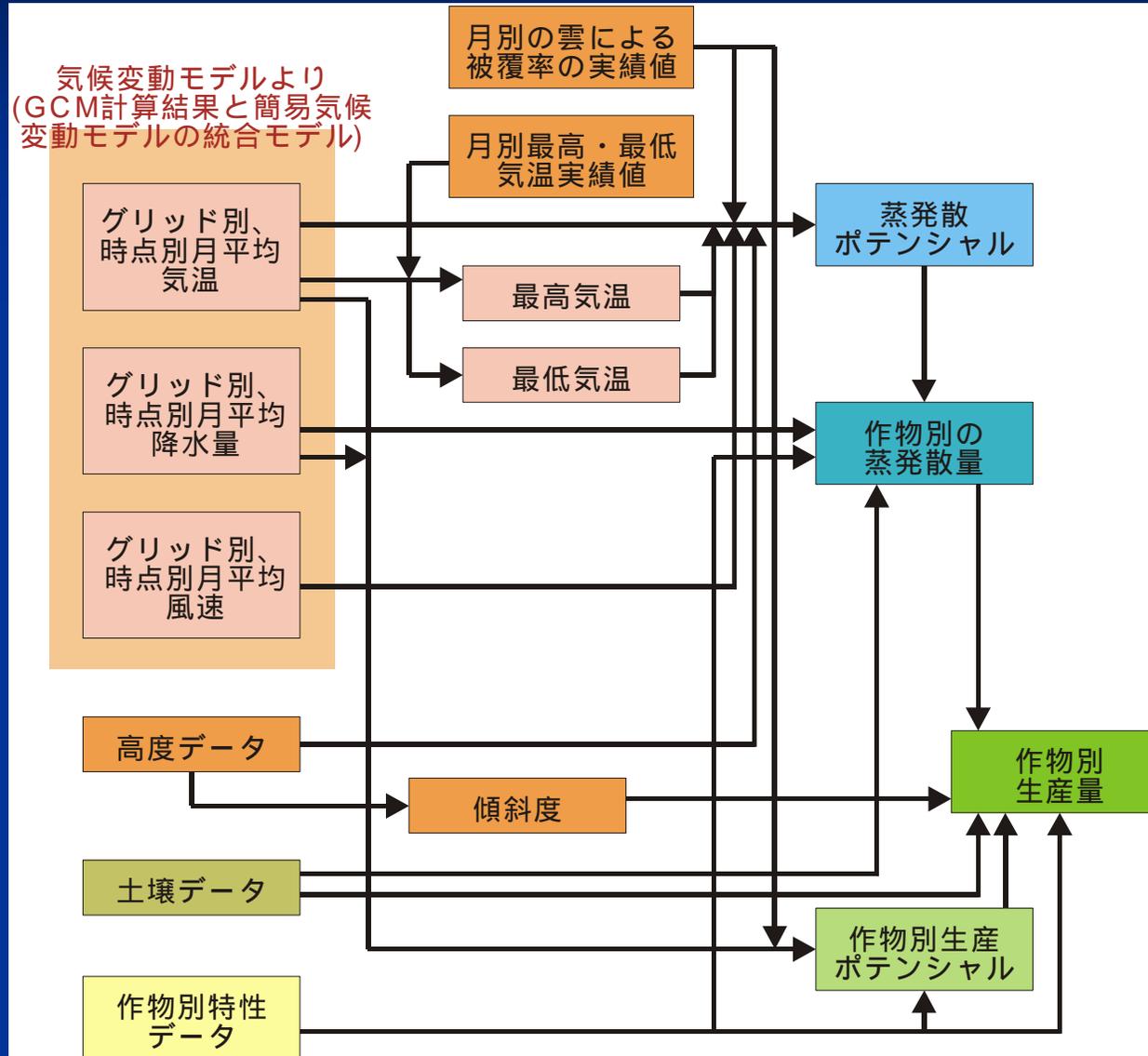
2100 における1990基準の気候変動 (AOGCM:MIROC-HR、CS:3.0 °C)

# PHOENIXのType-1 温暖化影響事象評価

- 適応策を含む潜在的農作物生産評価
  - IIASA-AEZモデルとGIS
  - 最適化モデル
- 温暖化による健康影響評価
  - Tol(2002) による評価をベース
- 海面上昇影響、水資源、生物種減少、漁業、林業影響等を文献調査

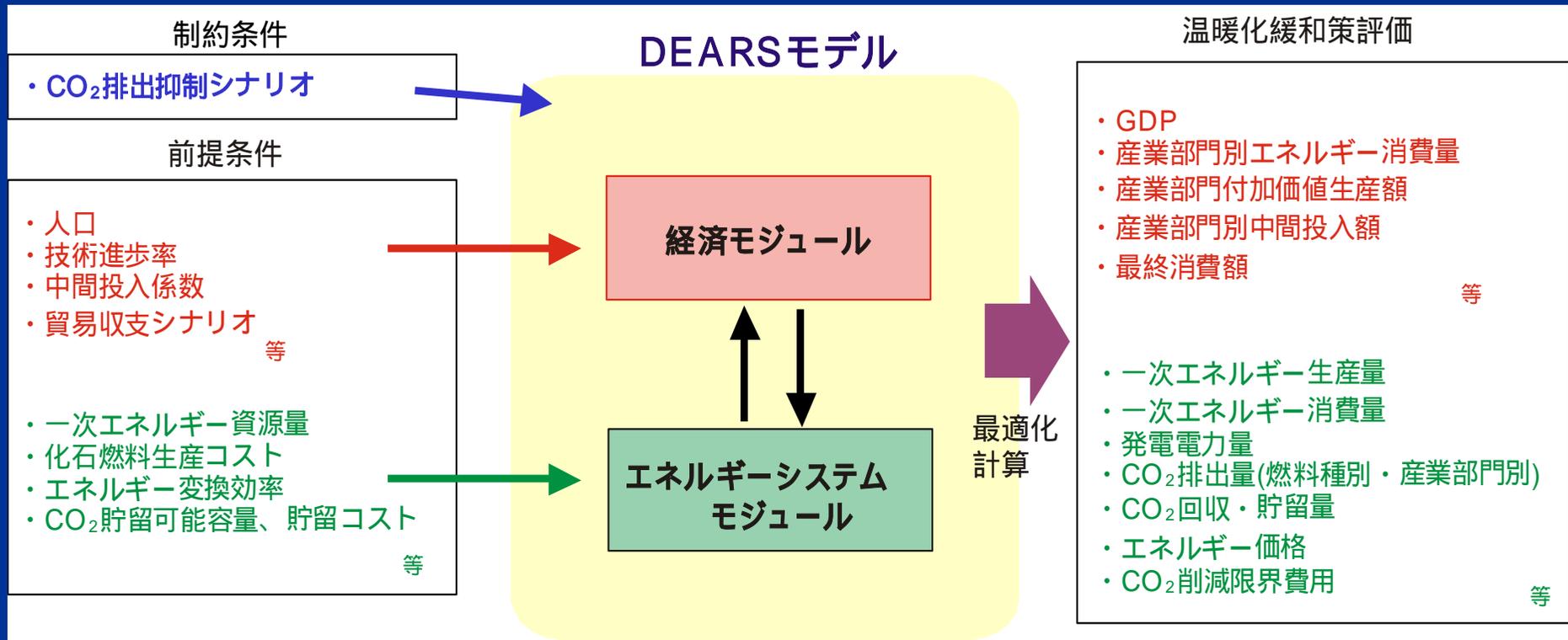
# 潜在的穀物生産力の推計

## IIASA-AEZ モデルに基づき、適応策も含め潜在生産力をモデル化



# 動学的多地域・多部門モデルDEARSによる中短期経済影響評価

## Dynamic Energy-economic Analysis model with multi-Regions and multi-Sectors



# スコアボードによる影響評価の包括的表示 (例:550mmpv)

・気候変動無しに比べ水ストレス増大/減少する人口[百万人]

	水ストレス増大人口			水ストレス減少人口		
	2050年	2100年	2150年	2050年	2100年	2150年
世界全体				3016	3220	
米国				610	663	
ロシア				1698	1763	
中国				5	21	
日本				20	21	
				79	85	

・小麦生産ポテンシャル  
ポテンシャルの増加(1990年比)[%]

	2050年	2100年	2150年
世界全体	19.9	23.2	23.2
米国	-1.1	-2.1	-2.4
ロシア	2.7	2.6	2.6
中国	4.6	5.4	5.4
日本	0.0	0.0	0.0

人口。中央ヨーロッパ、南

注) オーストラリア、ヨーロッパの国を中心に負の影響。

・熱ストレス

温暖化による死亡者数変化[万人] (ベースライン死亡者数に対する比率[%])

	暑さ起因 + 寒さ起因			暑さ起因			寒さ起因		
	2050年	2100年	2150年	2050年	2100年	2150年	2050年	2100年	2150年
世界全体	-86 (-1.5)	-153 (-1.8)	-196 (-2.0)	148	382	513	-234	-535	-710
インド	7 (0.6)	17 (1)	23 (1)	34	88	117	-28	-71	-94
サハラ以南アフリカ	6 (0.6)	20 (1)	28 (1)	26	82	112	-21	-62	-84
中東・北アフリカ	-4 (-0.4)	-9 (-0.6)	-12 (-0.7)	32	87	117	-36	-97	-130
中国	-51 (-5)	-114 (-8)	-151 (-9)	7	22	31	-58	-136	-182
先進資本主義圏	-35 (-6)	-55 (-10)	-71 (-11)	11	18	23	-46	-73	-94

インド、サハラ以南アフリカ等で暑さ起因の死亡者数増加が大きい。中国、先進資本主義圏等では寒さ起因の死亡者数減少が大きい

健康

・生物媒介性感染症

温暖化による死亡者数変化[万人] (ベースライン死亡者数に対する比率[%])

サハラ以南アフリカ	2050年	2100年	2150年
マラリア	9.5 (10)	0 (0)	0 (0)
デング熱	0.06 (46)	0 (0)	0 (0)

その他の地域では、温暖化による死亡者数変化無し

# エキスパートジャッジメント(EJ)による 炭素排出策評価の実施

- PHOENIXプロジェクトでは、緩和コストと影響事象及びその緩和レベルを、専門家が総合的に判定する。
- しかし、影響事象があまりに多岐にわたり複雑なため、同時にすべてを判定するのは専門家といえど困難。
- PHOENIXでは、EJを2段階に分割
- Step-1: 選択された主要要因事象についてEJを実施し、温暖化対応政策による緩和便益と費用を比較
- Step-2: Step-1の結果及びスコアボードの全影響事象を比較し、最終的な温暖化対応政策の評価を行なう。

# エキスパートジャッジメント: Step 1

## 一対比較による相互重要度得点の付与(AHP)

- 5 主要温暖化要因を選定(比較的定量性が高い)
  - (1) 海面上昇影響
  - (2) 食糧生産性への影響
  - (3) 健康影響
  - (4) 生態圏・生物種減少への影響
  - (5) THC停止リスク (Type-II事象)
- (5) THC 停止リスクは、専門家の不確実性評価を尋ねるために含めた
- 専門家は、AHP (Analytic Hierarchy Process)と同様に、「緩和策実施時の温暖化影響緩和の便益」の相互重要度を、一対比較で回答する

# エキスパートジャッジメント: Step 1

## 一対比較による相互重要度得点の付与(2)

### 2. 海面上昇・沿岸影響と健康影響の相対関係

先に示したように、2100年の海面上昇は、温暖化に関して無対策の場合1990年比で50cmである一方、二酸化炭素濃度をここで想定したレベルに安定化した場合は43cmである。すなわち、排出削減をはかることによって、2100年には7cm分の海面上昇を食い止めることができる。

一方、温暖化に関して無対策の場合、温暖化によって、2100年の呼吸器疾患と循環器疾患(暑さ起因)の死亡者数は、温暖化しない場合より世界全体で490万人増加するが、二酸化炭素濃度をここで想定したレベルに安定化した場合には、382万人の増加に留まる(無対策よりも死亡者数が108万人減少)。

それでは、あなたは、健康への温暖化影響がこのように低減されることによって得られる2100年の便益を1とする時、海面上昇の抑制によって得られる2100年の便益は何倍もしくは何分の一程度だと考えますか。数字に  をつけて下さい。

1/100	1/50	1/20	1/10	1/5	1/2	1.0	2	<input type="text"/>	5	10	20	50	100
+	+	+	+	+	+	+	+	<input type="radio"/>	+	+	+	+	+

# エキスパートジャッジメント: Step 1

## 温暖化対策による死亡回避の便益評価

- 温暖化緩和政策によって 109万人の死者が回避できるとして、その便益の程度の金銭換算評価を尋ねる

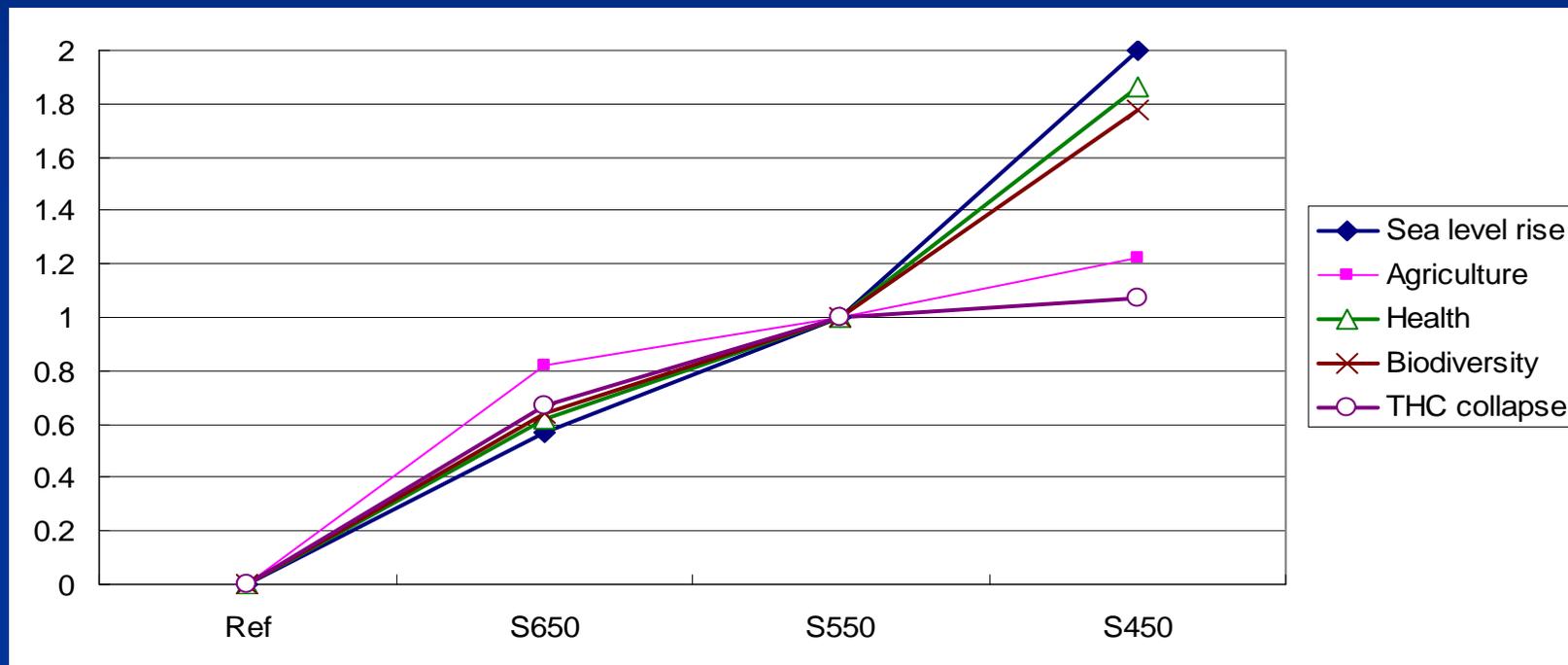
温暖化に関して無対策の場合、温暖化によって、2100年の呼吸器疾患と循環器疾患(暑さ起因)の死者数は、温暖化しない場合より世界全体で490万人増加するが、二酸化炭素濃度をここで想定したレベルに安定化した場合には、382万人の増加に留まる。すなわち、ここで想定したレベルに濃度安定化することによって、無対策よりも死者数が108万人減少できる。

それでは、この死者数を減少させる価値は、どの程度だと考えますか。死者1人減少当たりの価値でお答え下さい。(数字に  をつけるか、もしくは適当な数字を記入して下さい。)

10	50	100	500	1,000	5,000	10,000	50,000	100,000
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				

# 温暖化影響緩和の効用関数の設定

- 異なる水準の温暖化対応政策の費用便益評価のために、温暖化損失関数を構成する。

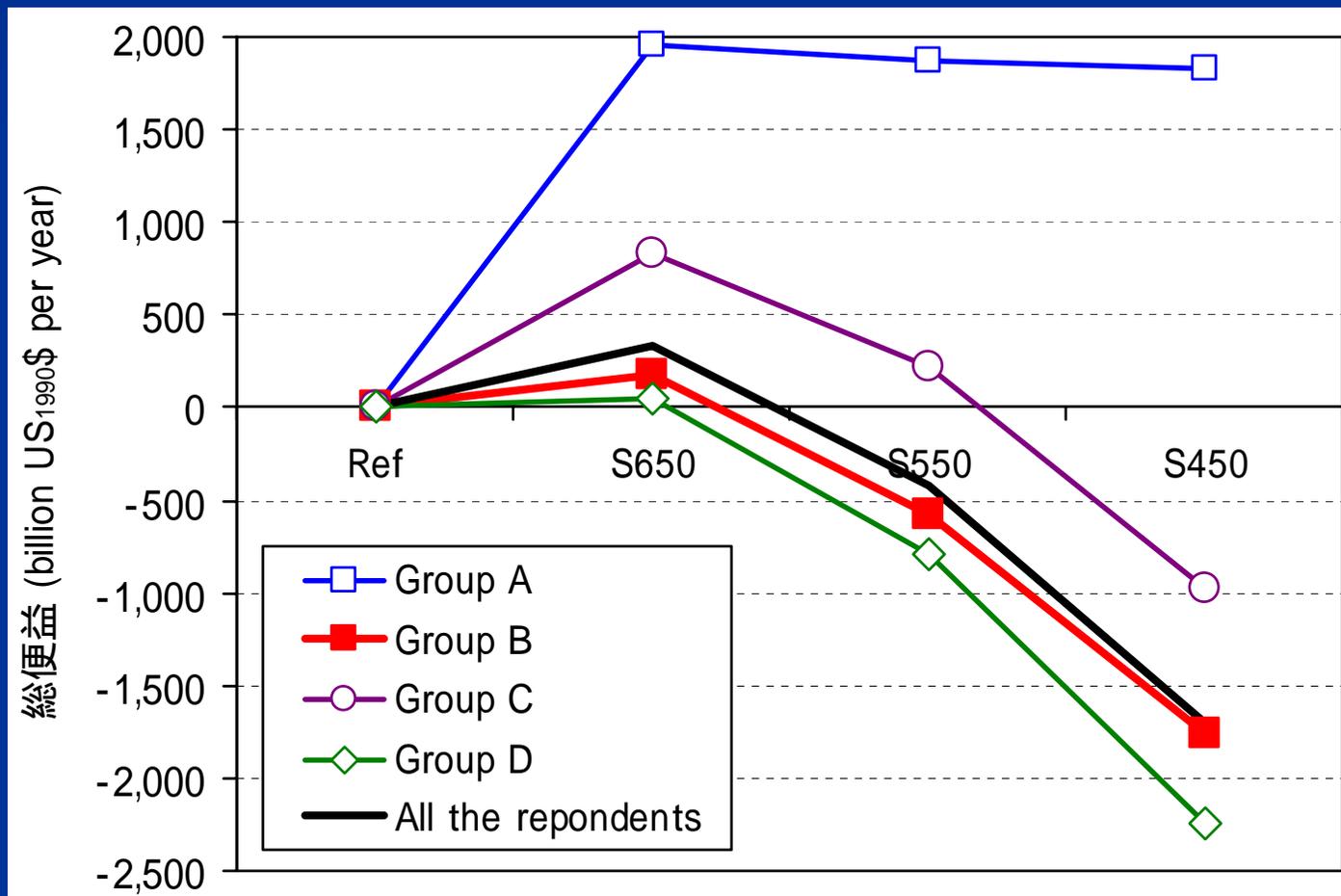


- 温暖化影響に対する損失関数を、温暖化対応政策導入時の影響緩和レベルの線形関数として構成(THC崩壊を除く)
- THC崩壊に対しては、発生確率低下の効用にいくつかの関数系を設定して比較(線形、べき乗、逆数)

# エキスパートジャッジメント: Step 1

## 一対比較による費用便益比較結果 (4)

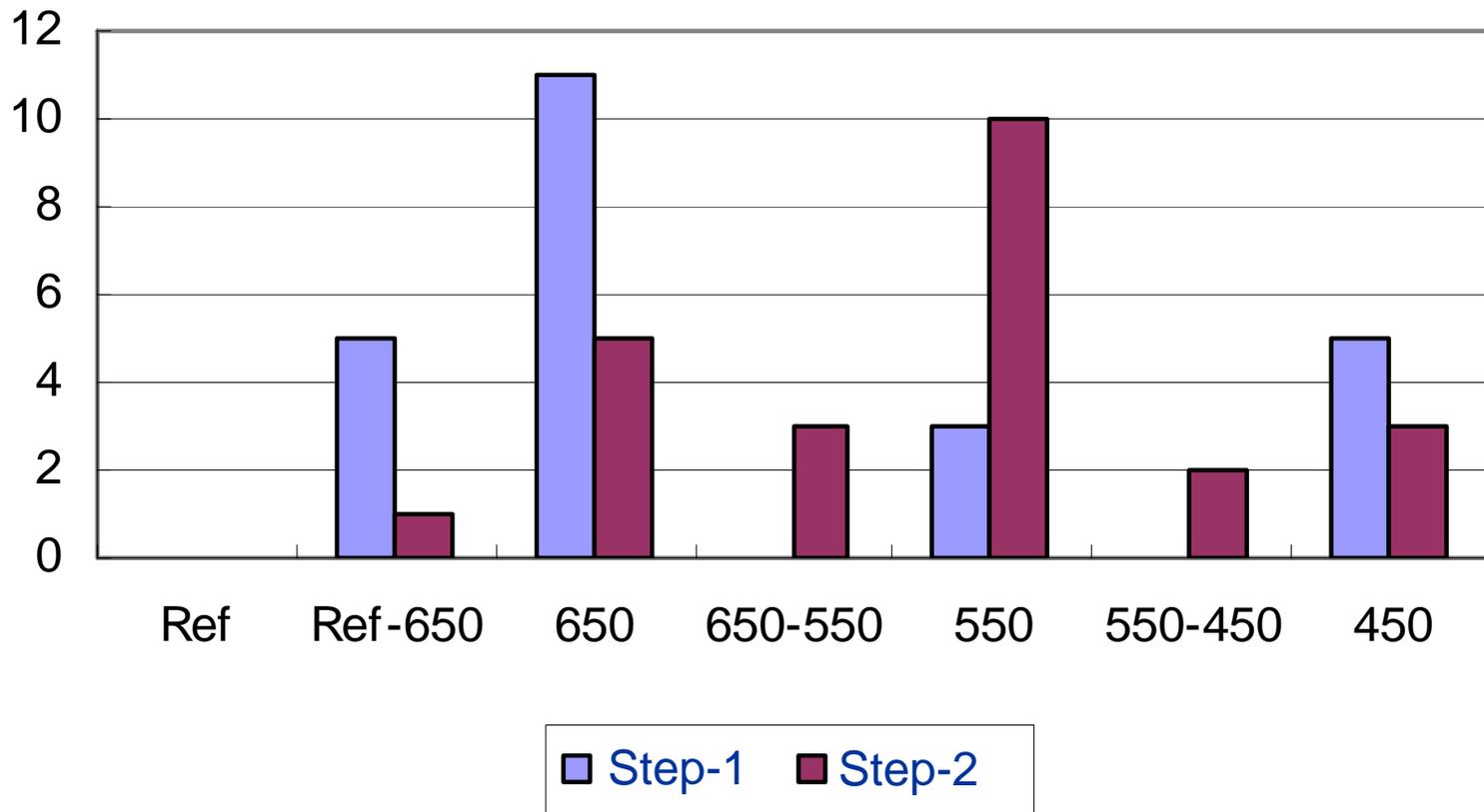
- 5 影響要因を相互重要度を基準に金銭換算し、緩和費用と比較を行なう。
- 24 名の専門家(4グループ)への調査結果



# エキスパートジャッジメント: Step 2

## 総合的評価結果(1)

- 専門家は、Step-1の結果とスコアボード全体から、好ましい温暖化排出経路を回答する



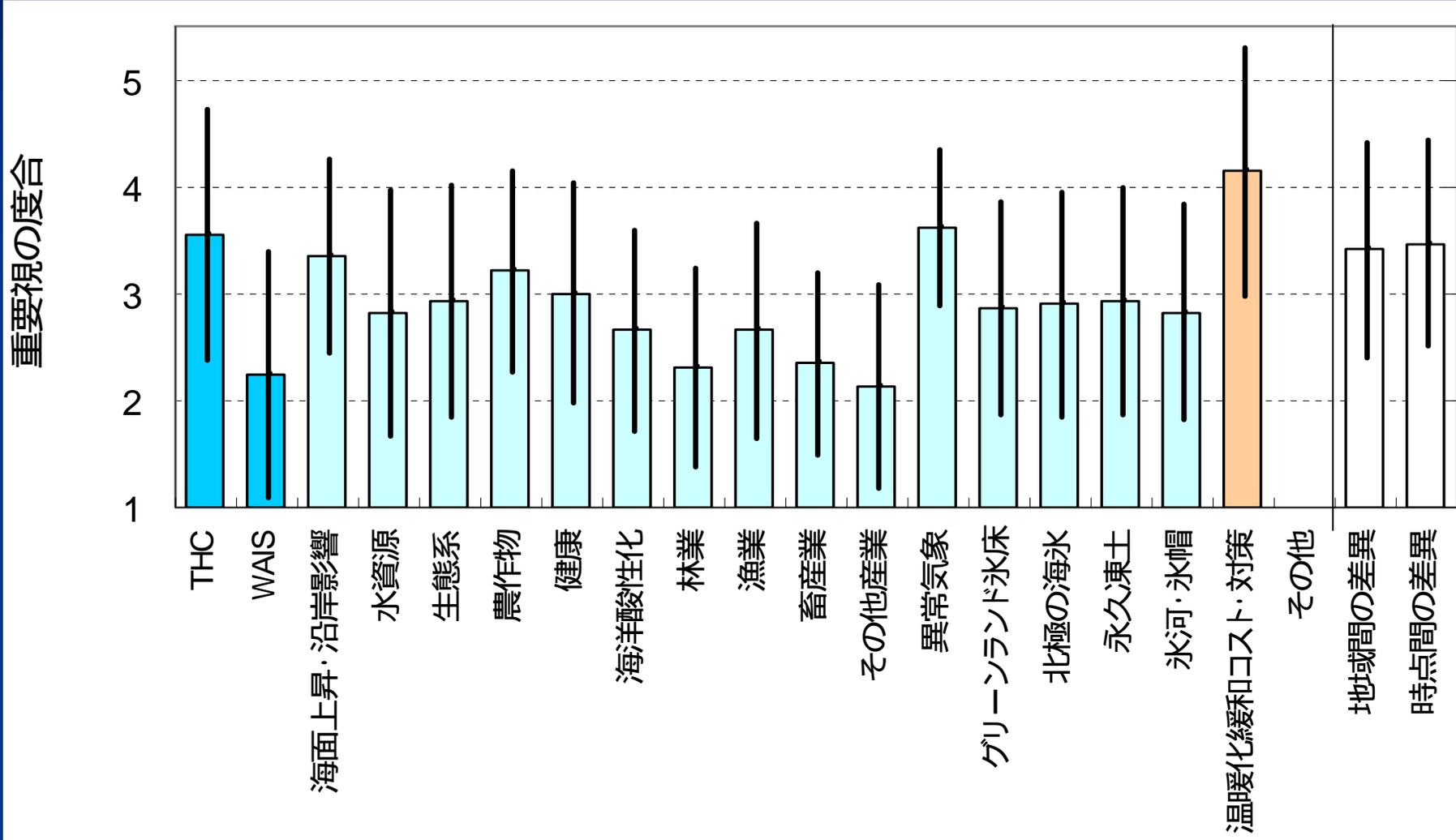
# エキスパートジャッジメント: Step 2

## 総合的評価結果(2)

		第1ステップ一次最適(5項目,2100年時点)							合計
		Ref	~	650	~	550	~	450	
第2ステップ回答	Ref								
	~		1						1
	650		2	3					5
	~		2	1					3
	550			6		2		2	10
	~					1		1	2
	450			1				2	3
合計			5	11		3		5	24

# エキスパートジャッジメント: Step 2

## 総合的評価結果(3)



# PHOENIX プロジェクトの総括 (1-方法)

- PHOENIX プロジェクトにより、影響事象から緩和策評価を総合化した政策評価のあり方について、一貫した方法手順が提供された。
- 包括的な文献調査および複数の独自モデル開発により、エネルギー需給、社会・産業の構造的変化を考慮しつつ、政策評価に至る体系的システムを構築した。
- 専門家の判断の多様性と基準を明らかにした上で、最も「好ましい」排出緩和経路をエキスパートジャッジメントに基づき導出した。

# PHOENIX プロジェクトの総括 (2:結論)

- 温暖化の影響は、空間的にも時間的にも広がりを持ち、かつ多様な不確実性を伴う。
- 気候変動の影響は強い地域性を持つ。21世紀中、「世界平均」あるいは「世界合計」で世界全体の経済活動と比較すれば、さほど深刻な数値には至らないと見られるものの、社会の持続可能性は損なわれる可能性がある。
- 温暖化の緩和費用は、もし現在の社会・産業構造を基準とするなら、制約目標が厳しくなるにつれ、急激に増加する。
- PHOENIXプロジェクトは、各影響要因への個々の専門家判断には広がりがあるものの、総合的に最も好ましい炭素排出政策は550ppmv前後の安定化策という結論を導いた。
- これは、450-500ppmv(あるいはそれ以下)への安定化を求める、より厳しい排出緩和を求めるEU提言やSternレポートとはやや異なるものである。