地球温暖化対策とエネルギーシステム工学

エネルギー工学連携研究センター設立記念講演会
2008年1月18日

山地憲治
(東京大学工学系研究科電気（系）工学専攻）

- 地球温暖化に関する科学の現状(IPCCの報告から)
- 世界エネルギーモデルによる地球温暖化対策の評価
- 「エネルギー学」の創出

Yamaji Lab

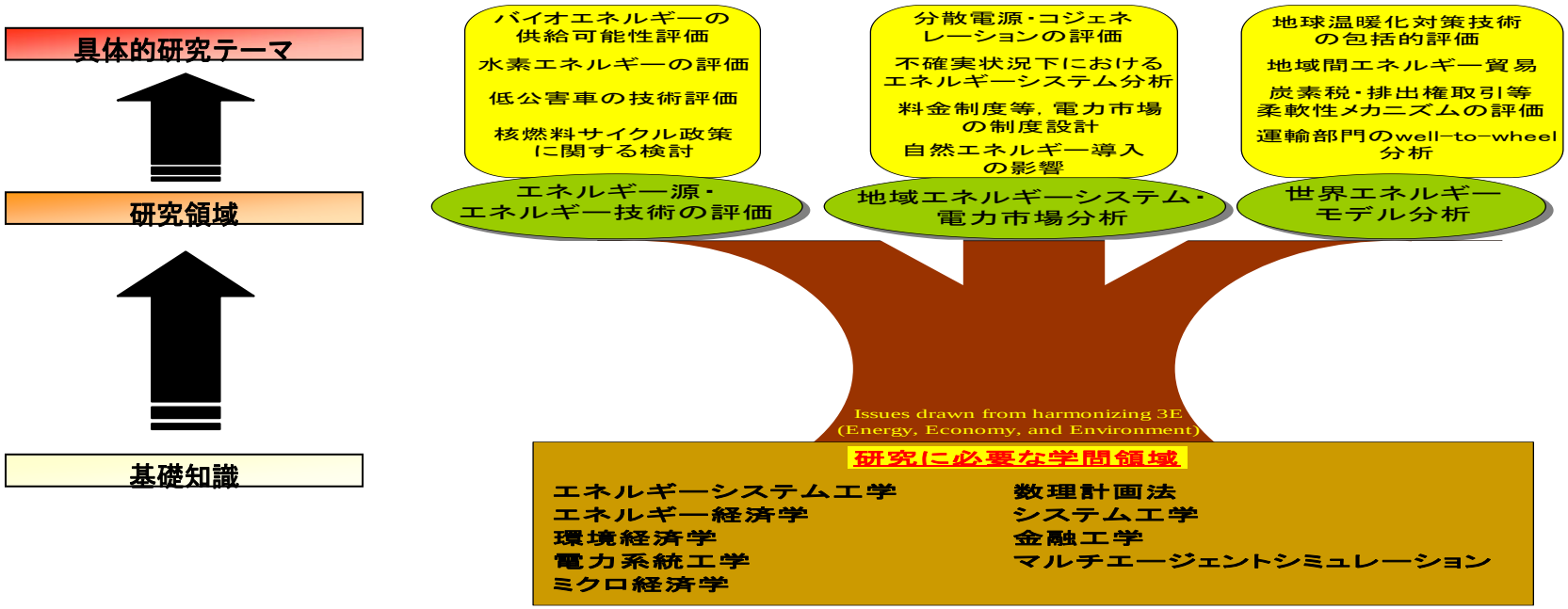
For harmonizing 3E (Energy, Economy and Environment)

山地研究室の基本的目標

本研究室では、エネルギー(Energy) ・経済(Economy) ・環境(Environment) の複合領域で発生する、いわゆる3E問題・トリレンマが研究対象である。そして、この3Eの諸問題、例えば、地球温暖化や電力市場制度改革といった問題を、数理計画法やシミュレーション手法といったシステム工学手法で解いて、結果の社会的・経済的意義を論じることを目標としている。例えば、原子力、自然エネルギー、CO_2地層貯留等のエネルギー関連技術の選択を、工学的側面に加え、社会的・経済的側面も含めて議論することにより、有用な政策的知見を導くことを目指している。

本年より、先進国にCO_2排出削減義務を課す京都議定書の約束期間にあたり、また、既に我が国では卸電力取引市場が開設されている。「どのようにこれらの諸問題に対応していくべきか？」という議論は活発化しており、我々に期待される役割はますます高まっている。

山地研究室で扱う研究領域と研究テーマ例

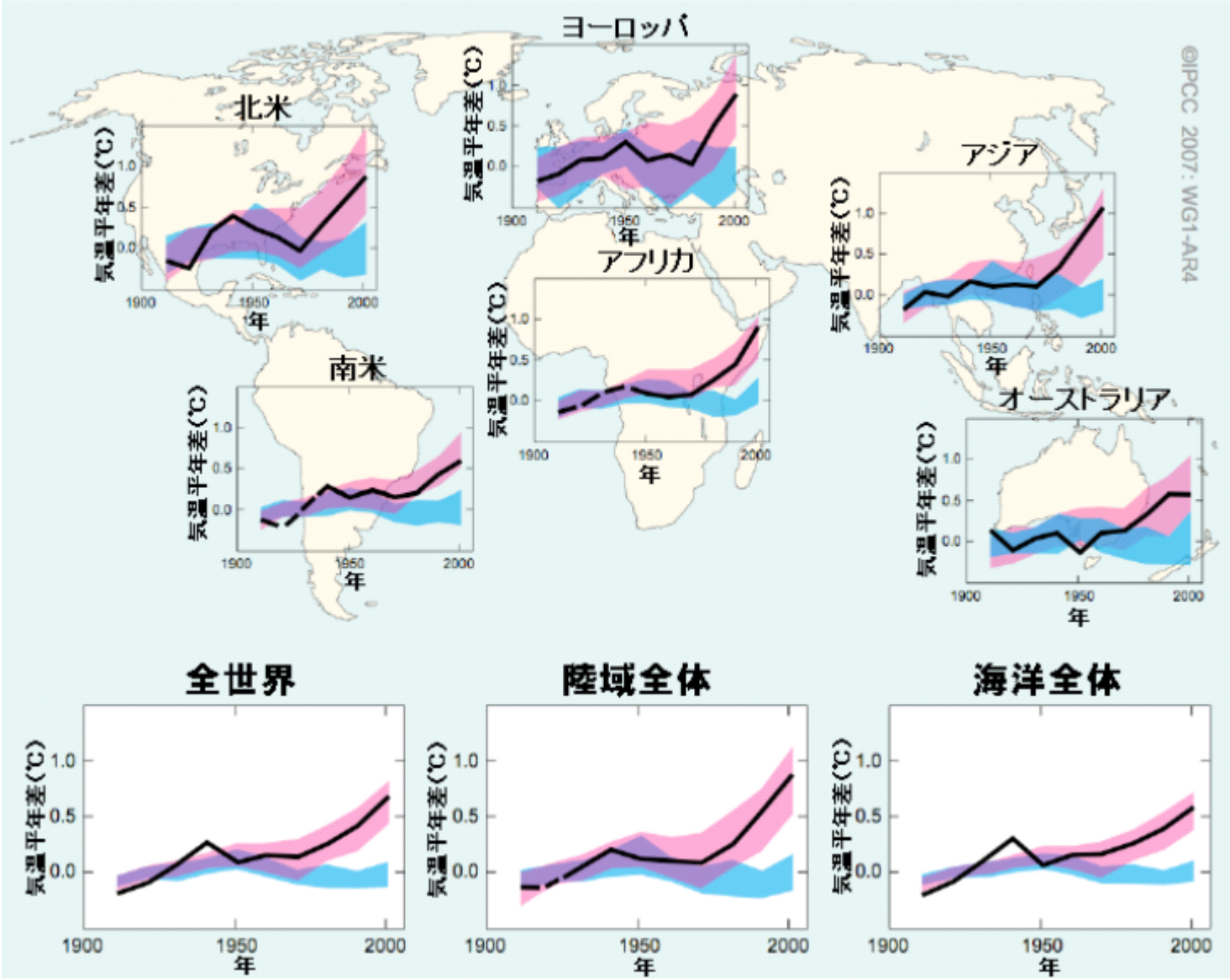


山地研究室の研究の「樹」

学生諸君へのメッセージ

エネルギー、環境問題を技術と社会の両面から考えて、工学の新しい分野を切り開きたい。研究にはエネルギー問題に関する基礎知識、数理計画法やシステム分析、計量経済解析手法などの素養が必要となるが、知識や手法は具体的に研究を進める過程で勉強すれば身についてくる。より重要なのは、現実の動きから基本的問題構造を見抜く力である。旺盛な好奇心と数量的解析の基礎力を持った人の参加を期待している。

世界規模及び大陸規模の気温変化 (IPCC第4次報告)

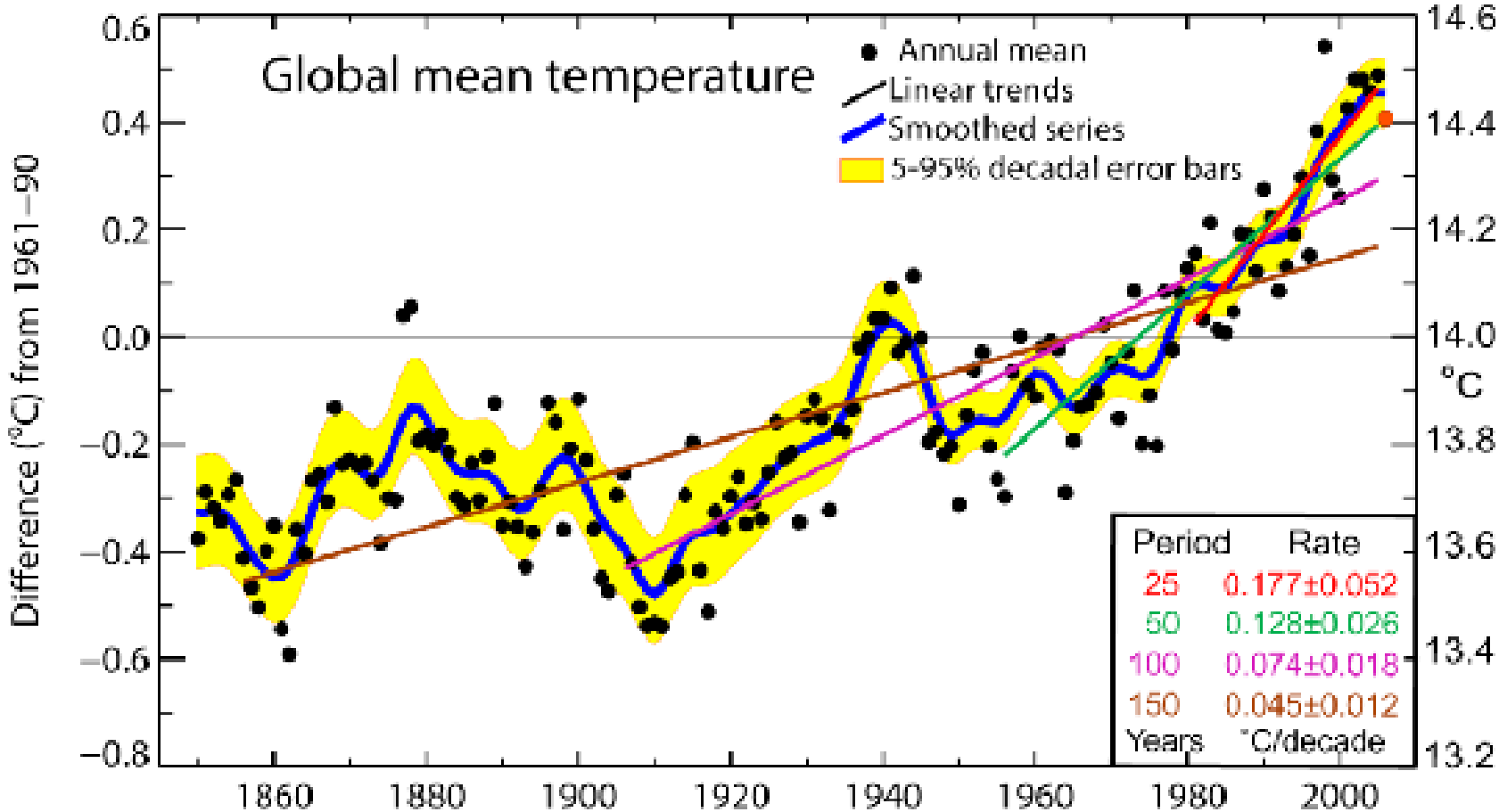


全球平均気温の観測

○過去100年間で世界平均気温が0.74℃上昇（2001年報告では0.6℃上昇）

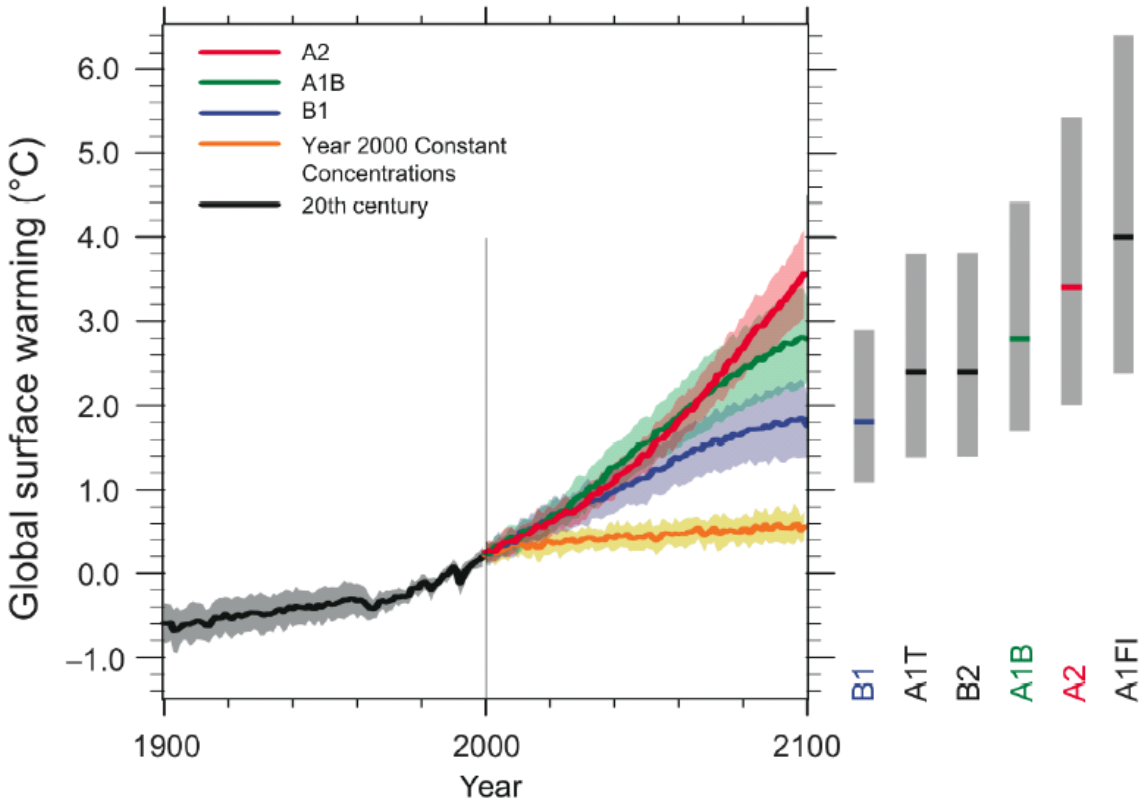
○最近50年間の気温上昇傾向は、過去100年間 のほぼ2倍

平均地上気温（1961～1990年までの平均気温と偏差）

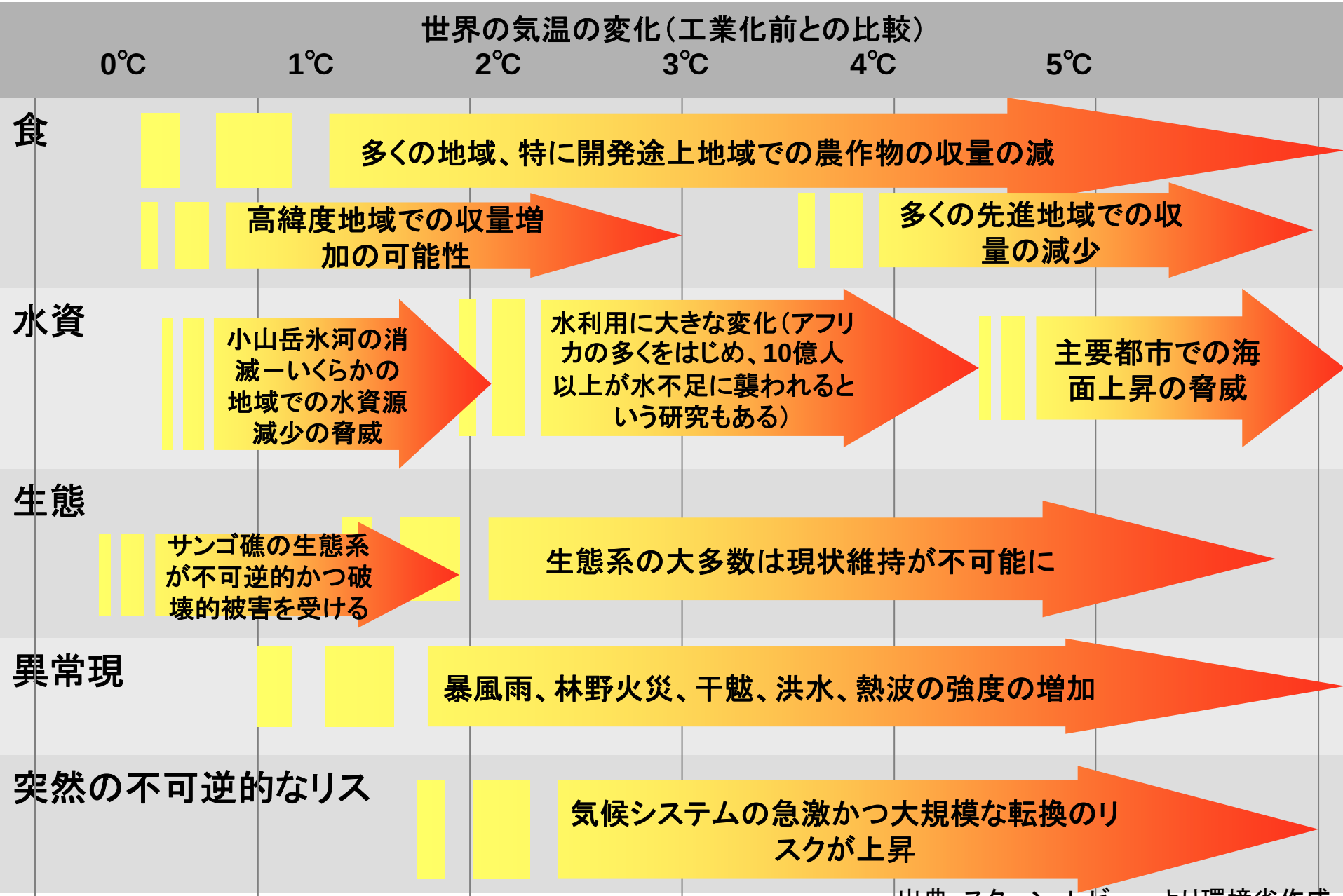


WG1: The Physical Science Basis

- 過去100年の間に全球平均気温は 0.74℃ 上昇　←【TAR：0.6℃】
- 成り行きシナリオ（BaU、IPCC SRES 6シナリオ）では、2100年の全球平均気温上昇 1.1～6.4 ℃ と推定　←【TAR：1.4～5.8℃】
- 平衡気候感度の最良推定値は3.0℃（2.0～4.5℃の範囲）←【TAR：最良推定値2.5℃（1.5～4.5℃の範囲）】

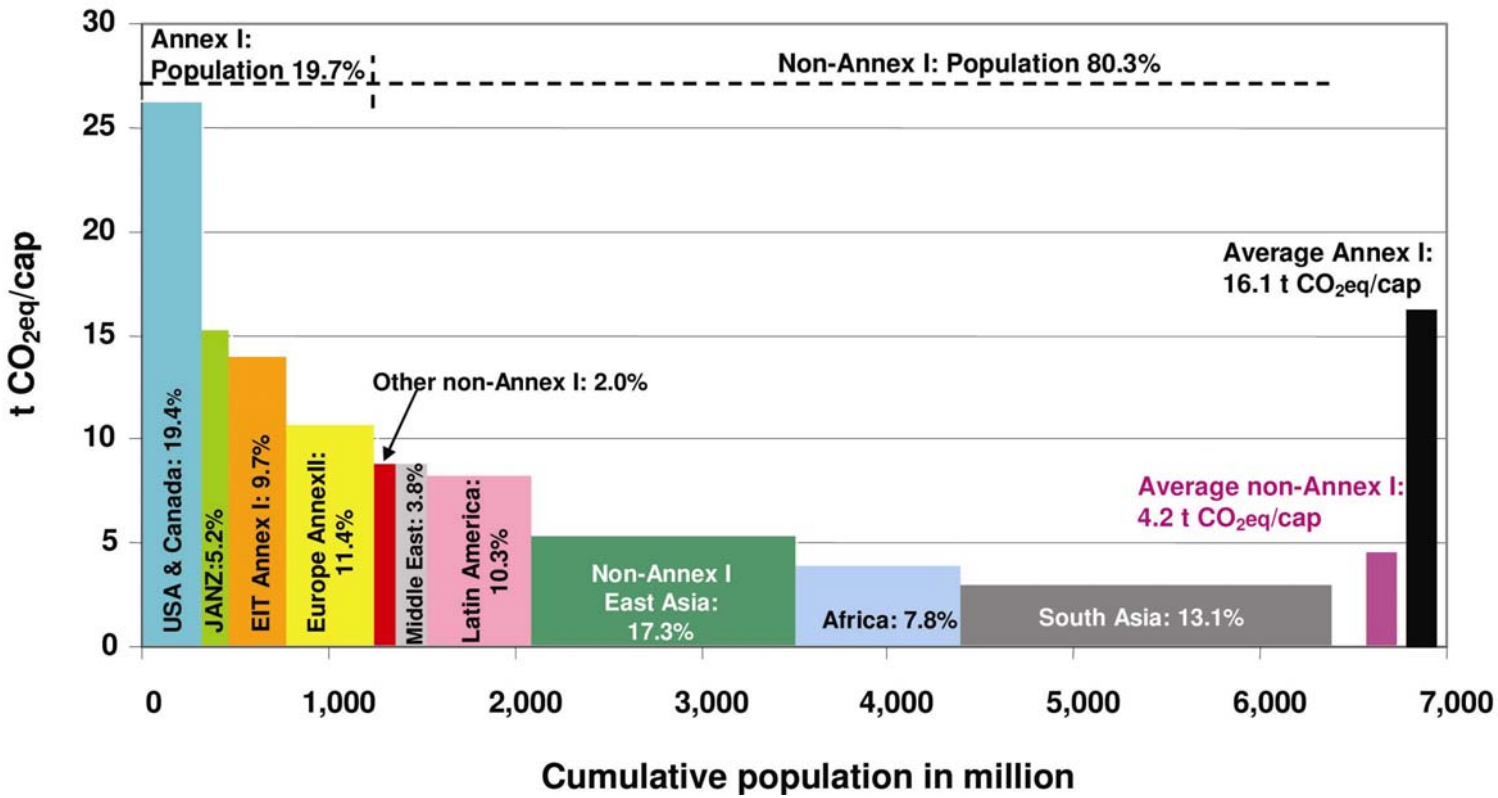


予測される気候変動の影響



出典：スターン・レビューより環境省作成

地域別の一人当たりGHG排出量（2004年）



	Annex I	Non-Annex I
人口	19.7%	80.3%
GHG排出量	48%	52%
一人当たり排出量	16.1 tCO2eq./cap	4.2 tCO2eq./cap

出典）IPCC WG3 AR4, SPM

バリ・ロードマップ（COP13、2007年12月）

ref.: Bali Action Plan

・COP15(2009年、デンマーク)でポスト京都の国際枠組合意を目指す
・先進国は適切で検証等可能な温室効果ガス（GHG）削減
（measurable, reportable and verifiable nationally appropriate mitigation commitments or actions）
・途上国は、先進国による技術支援等を通して、GHG削減
（mitigation actions … supported by technology and enabled by financing and capacity-building）
・途上国の森林保全による排出削減
・分野別削減（セクターアプローチ)への共同行動
・緊急の適応行動への国際協力
・技術開発・移転の促進
・途上国の対策への基金と投資

注目点：
・すべての主要排出国の参加
・削減の数値目標への言及は避け、IPCC第4次報告を参照
・セクターアプローチ
・適応と森林保全についての決議：CDM手数料による適応基金の創設など

地球温暖化対策の究極の目標
（気候変動枠組み条約第２条）

- 目標水準：気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととならない水準において、大気中の温室効果ガスの濃度を安定化。

- 目標達成期限：生態系が気候変動に自然に適応し食料の生産が脅かされず、かつ経済開発が持続可能な態様で進行することができるような期間内に目標達成。

安定化レベル別の温暖化影響被害と対策費用

EU提案

スターン・レビュー？

政府提案

（美しい星50）

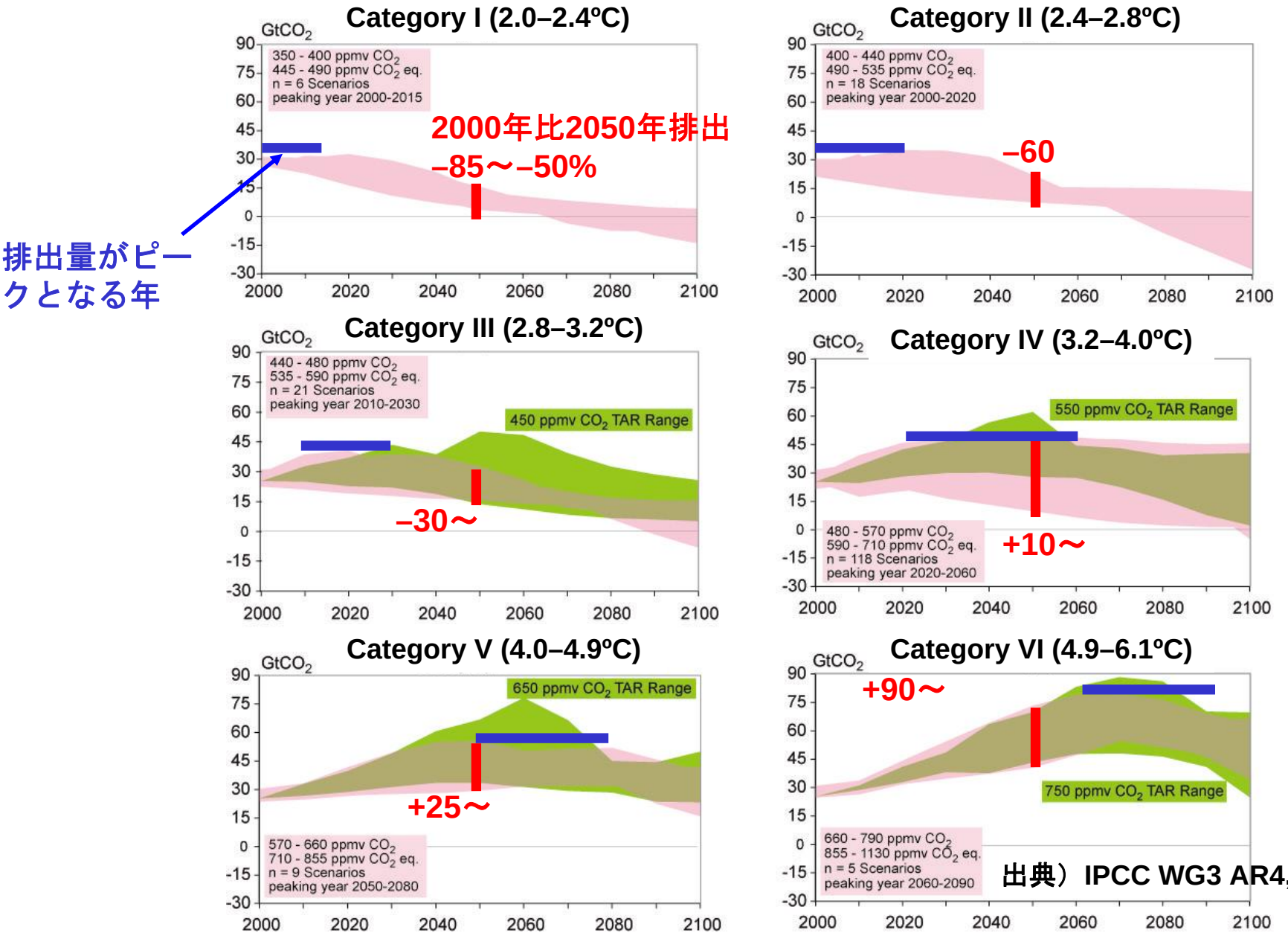
CO2濃度(ppm)	等価CO2濃度(ppm CO2eq.)	産業革命以降の気温上昇幅(℃)	2050年のCO2削減率(00年比%)	2050年削減費用(対GDP比%)	温暖化影響損失(対GDP比%)
350-400	445-490	2.0-2.4	-85～-50	+5.5未満	地域により損失(+)／便益(-)混在
400-440	490-535	2.4-2.8	-60～-30		
440-485	535-590	2.8-3.2	-30～+5	1.3 (-0～4)	すべての地域で+
485-570	590-710	3.2-4.0	+10～+60	0.5 (-1～2)	
570-660	710-855	4.0-4.9	+25～+85	—	1～5
660-790	855-1130	4.9-6.1	+90～+140	—	—

出典）IPCC WG2 & WG3 AR4, SPMより整理

注）費用便益的には、削減費用と影響損失の和が最小になる濃度が望ましい

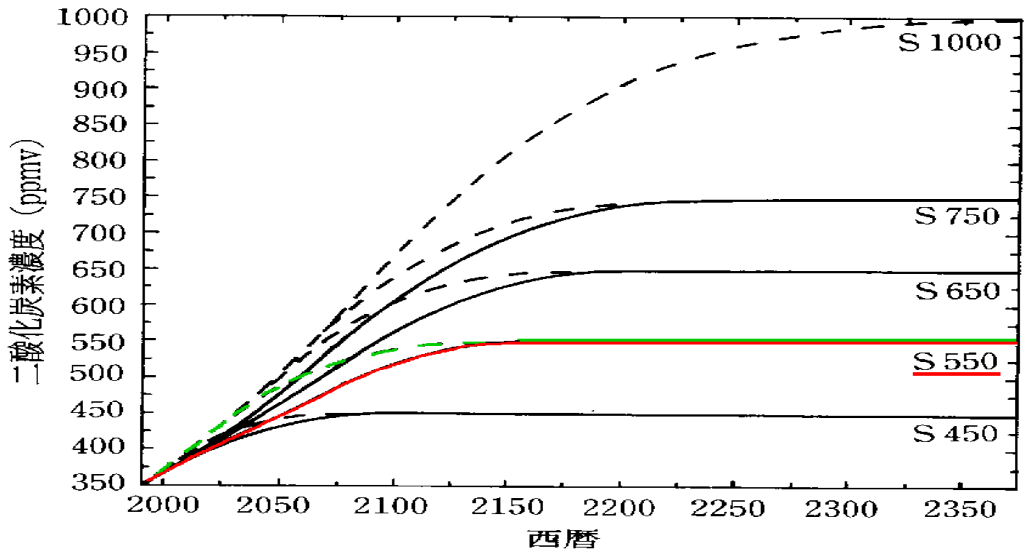
＜参考：スターン 影響損失＞
5～20%（8.6℃上昇時）

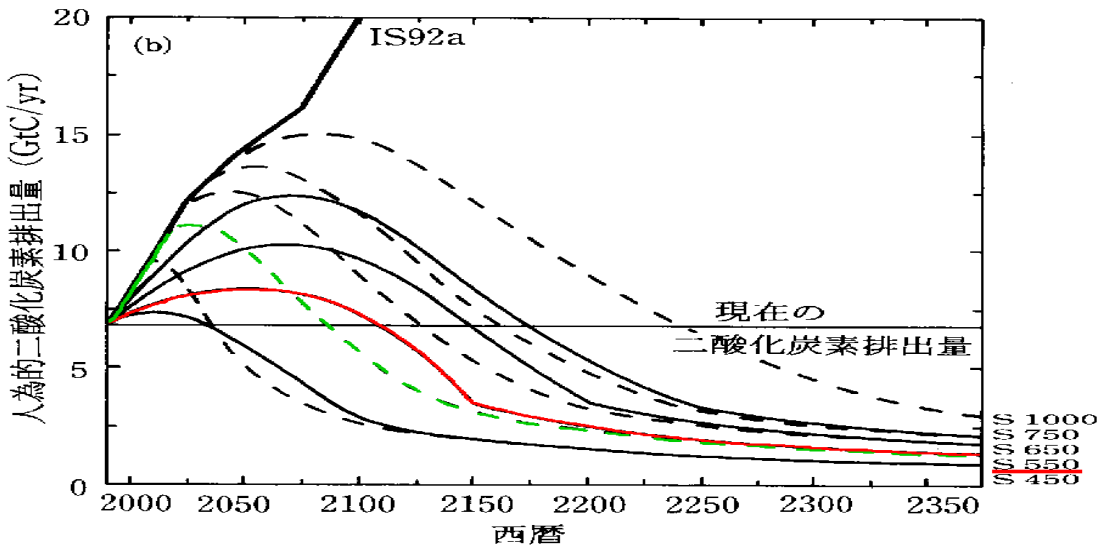
各レベルに安定化するために必要な排出量推移



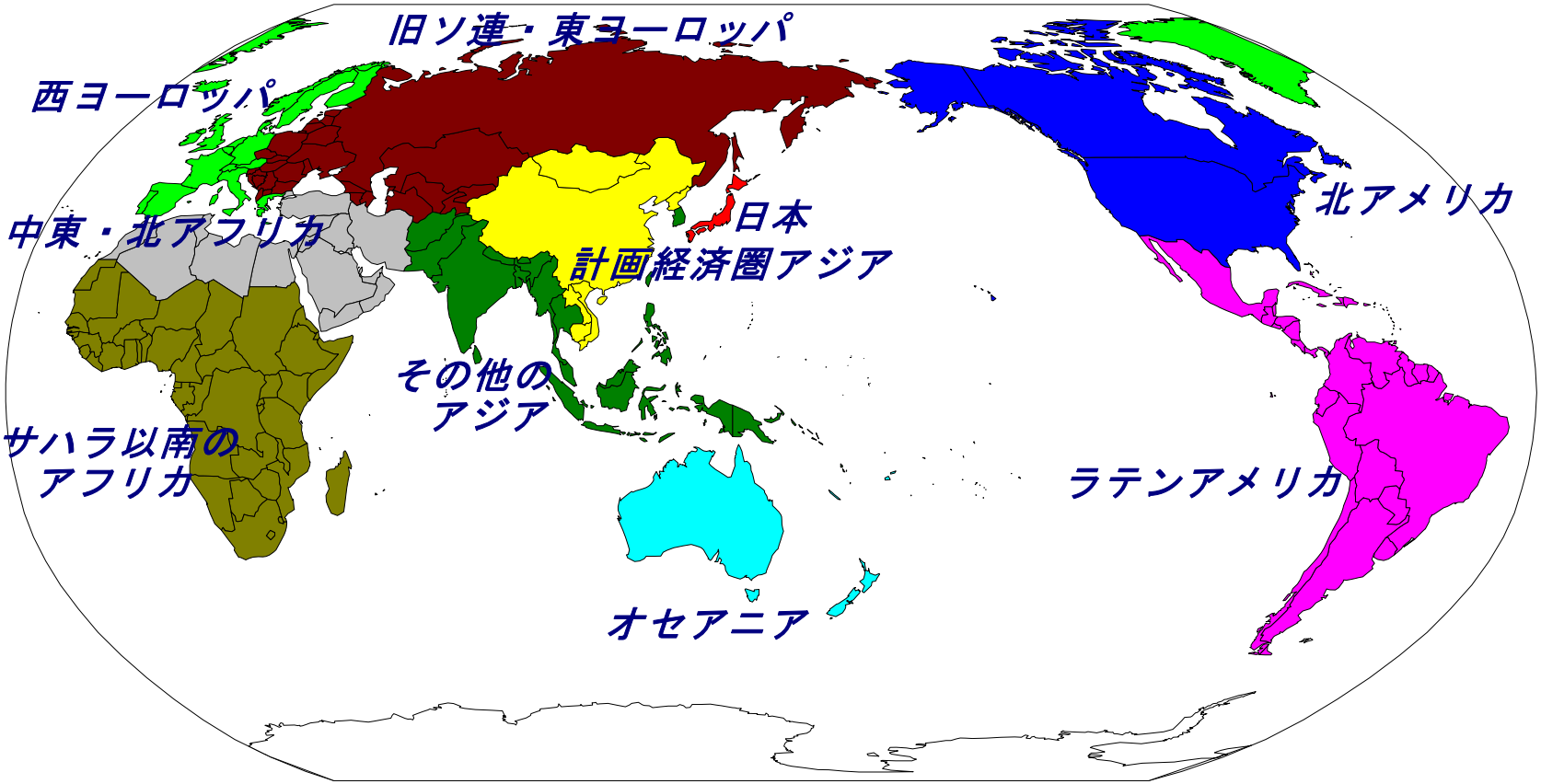
出典）IPCC WG3 AR4, SPM

大気中CO2濃度安定化の経路





DNE21モデルの世界地域分割



DNE21モデルについては下記の参考文献参照:

山地憲治、藤井康正:グローバルエネルギー戦略、電力新報社　１９９５年

Fujii, Y., K. Yamaji: Assessment of technological options in the global energy system for limiting the atmospheric CO2 concentration, Environmental Economics and Policy Studies, vol.1, pp.113-139 (1998)

新エネルギー・産業技術総合開発機構/(財)地球環境産業技術研究機構:「地球再生計画」の実施計画作成に関する調査事業報告書(1994－2002)

CO_2排出削減のためのエネルギー技術

省エネルギーの推進

- 最終需要での節約(自動車燃費など)
- 変換効率の改善

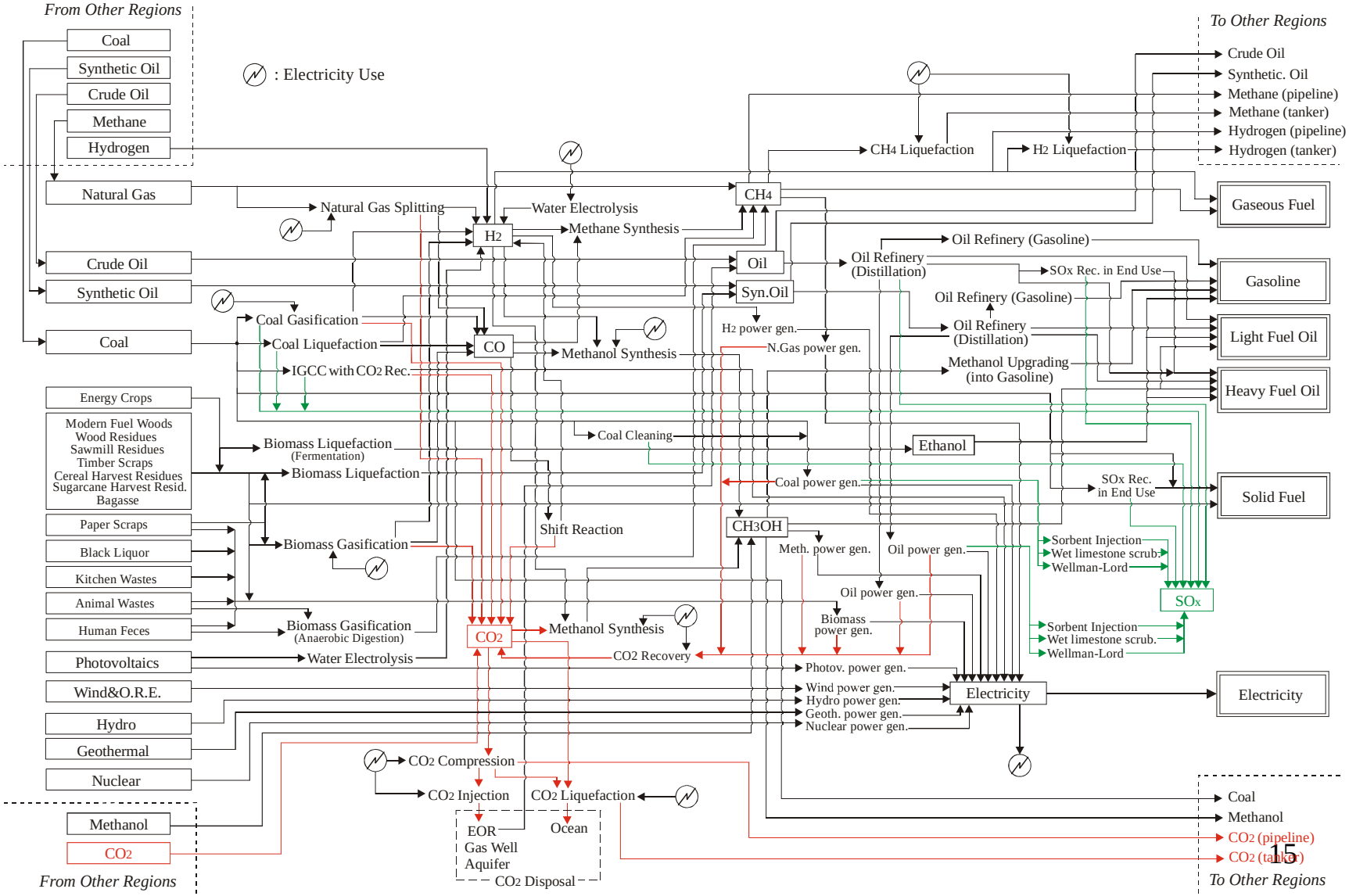
燃料転換

- 燃料転換(石炭から天然ガスへの転換など)
- 再生可能エネルギー、原子力

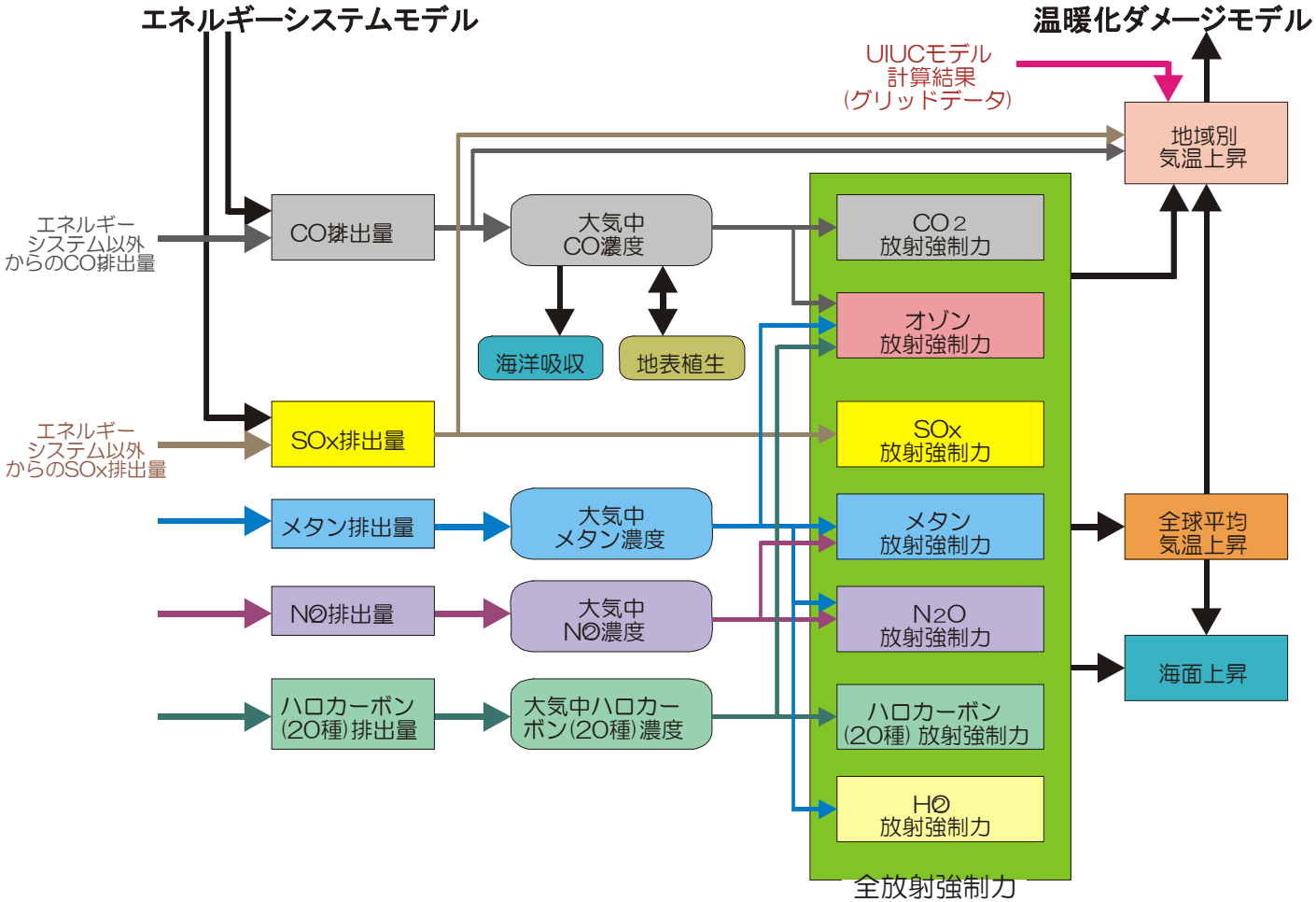
CO_2回収・貯留

- 燃焼排ガスあるいはガス化過程からのCO_2回収
- CO_2の地中・海洋貯留

エネルギーシステム構成



気候変動モジュールの概要



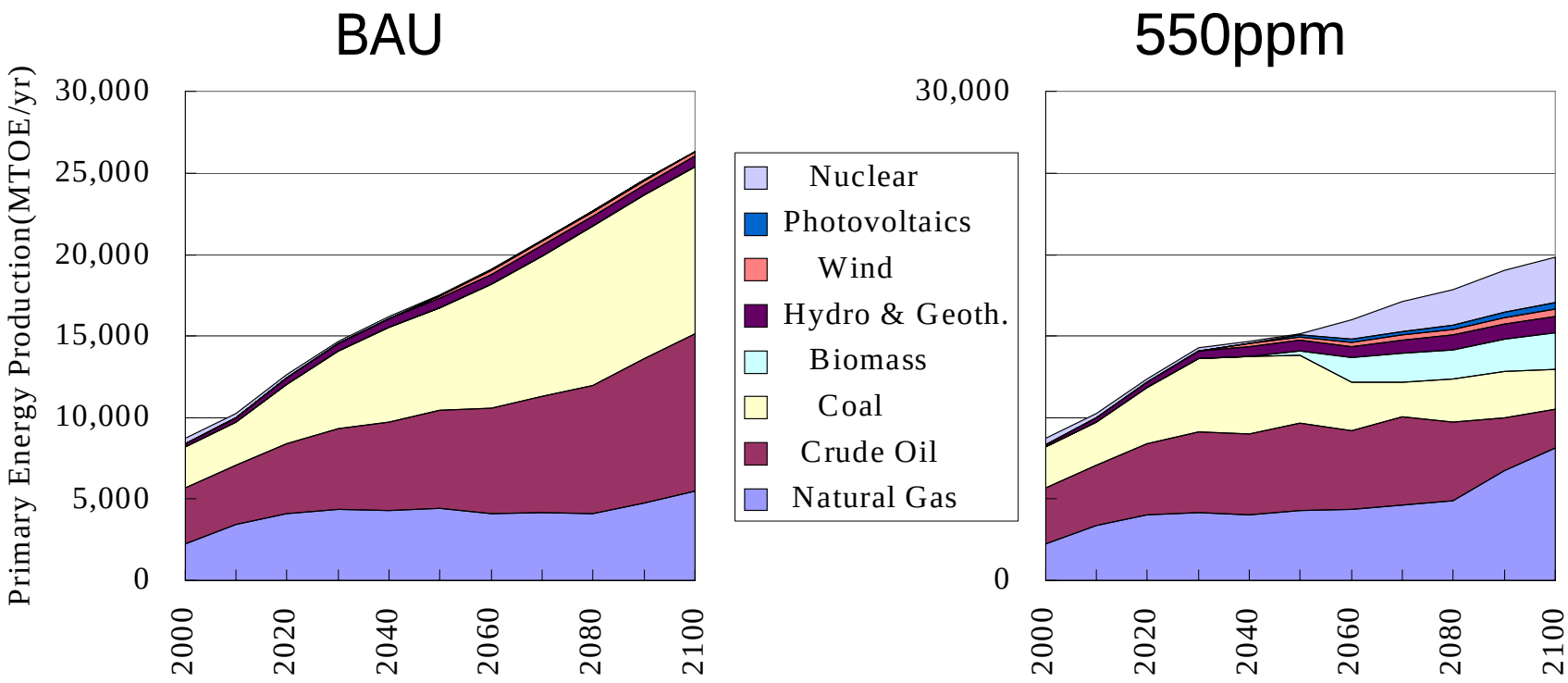
以下に示す結果では、大気中CO_2濃度までを計算

Simulation cases

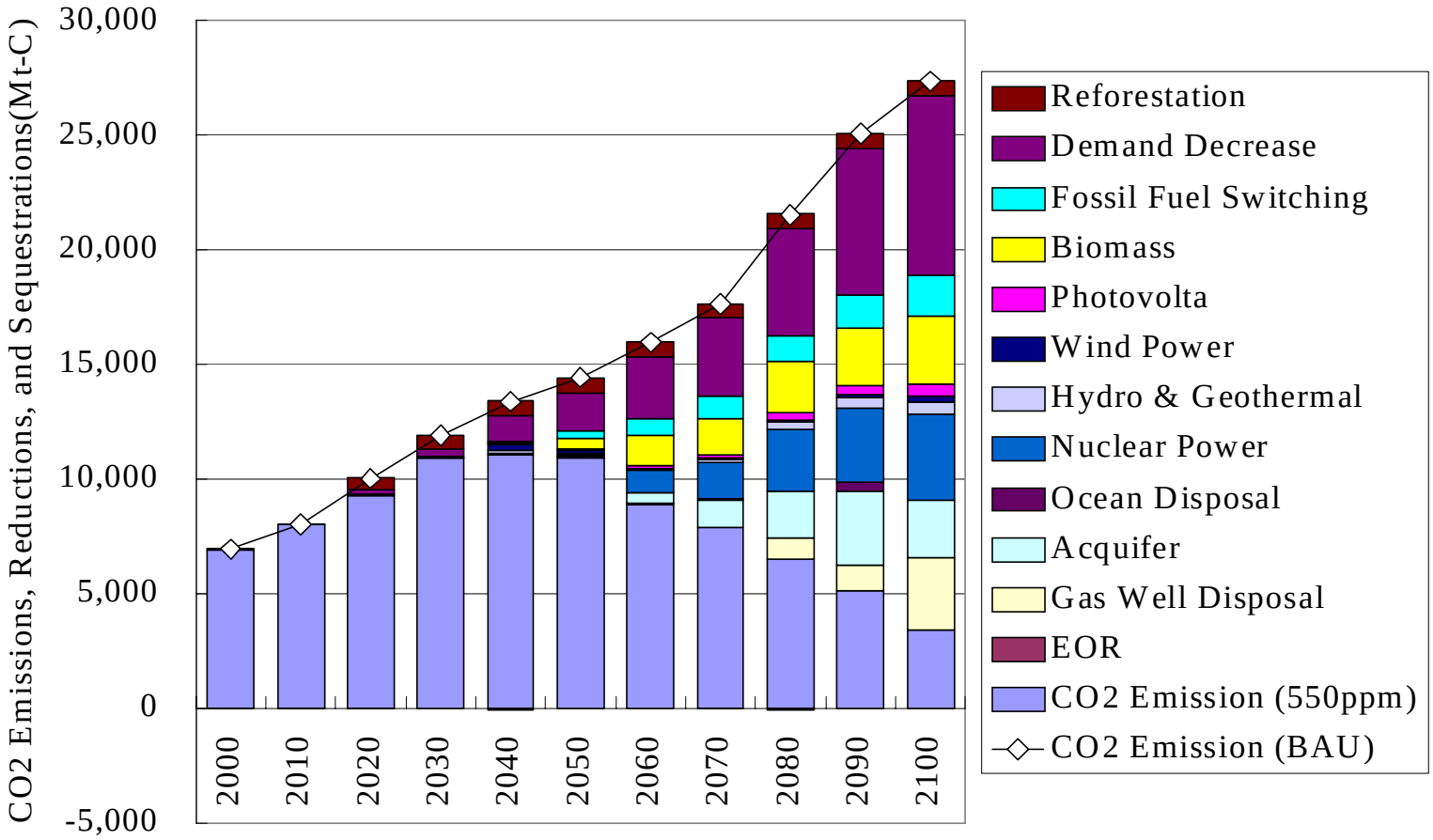
以下のモデル解析の出所：K. Yamaji, Long-Range Strategy for the New Earth 21 Plan, Japan Review of International Affairs,**1999**, Vol.12, No.4, pp.267-282 (1999)

	Case	CO2 constraints
1	BAU	free
2	550ppm	Global atmospheric CO2 concentration at 550ppm in 2100
3	COP3 forever	COP3 forever in Annex1 after 2010
4	300%	after 2020: Annex1:80% CO2 emissions at 1990 non-Annex1: 300% CO2 emissions at 1990

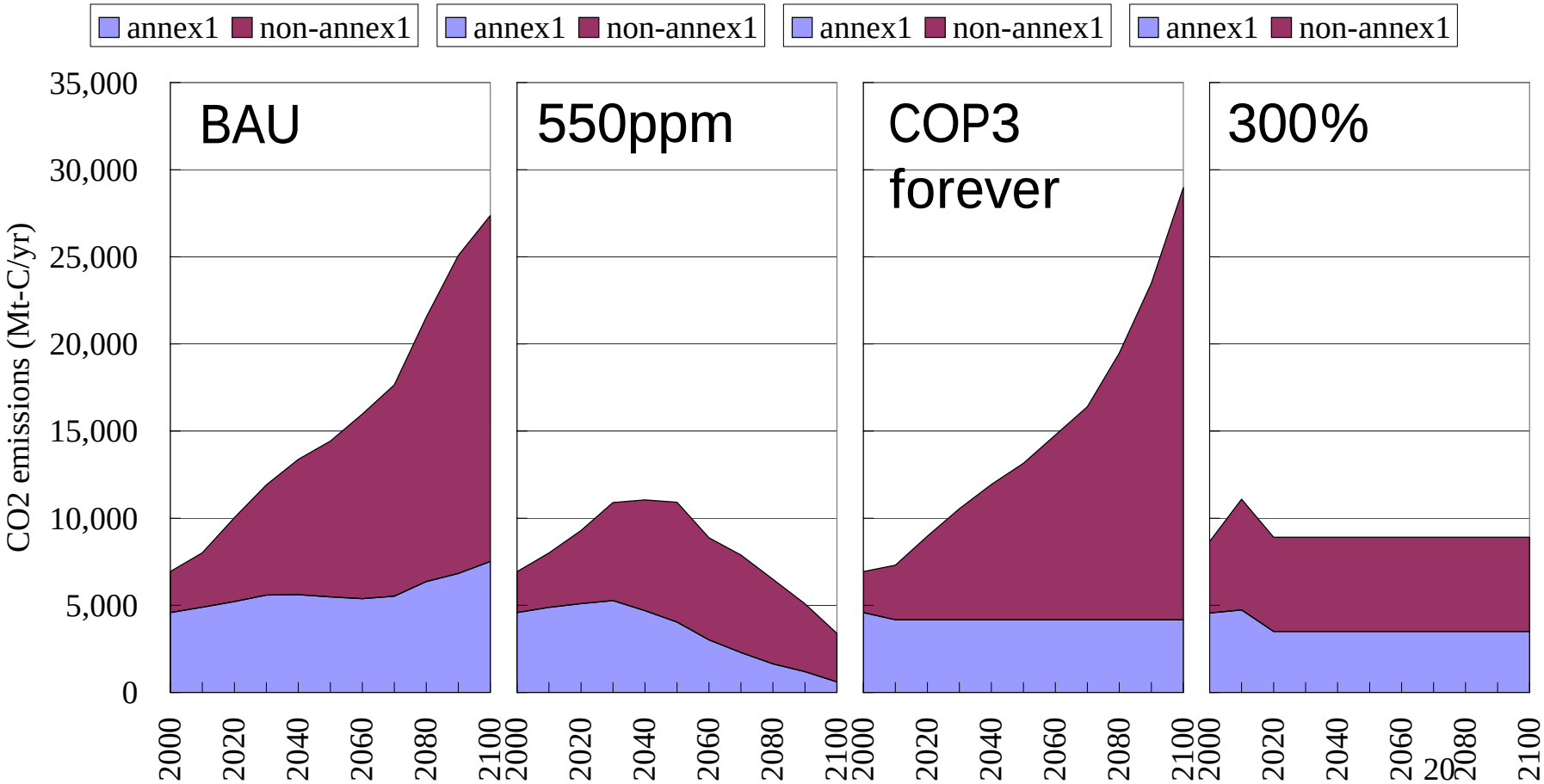
Primary energy production



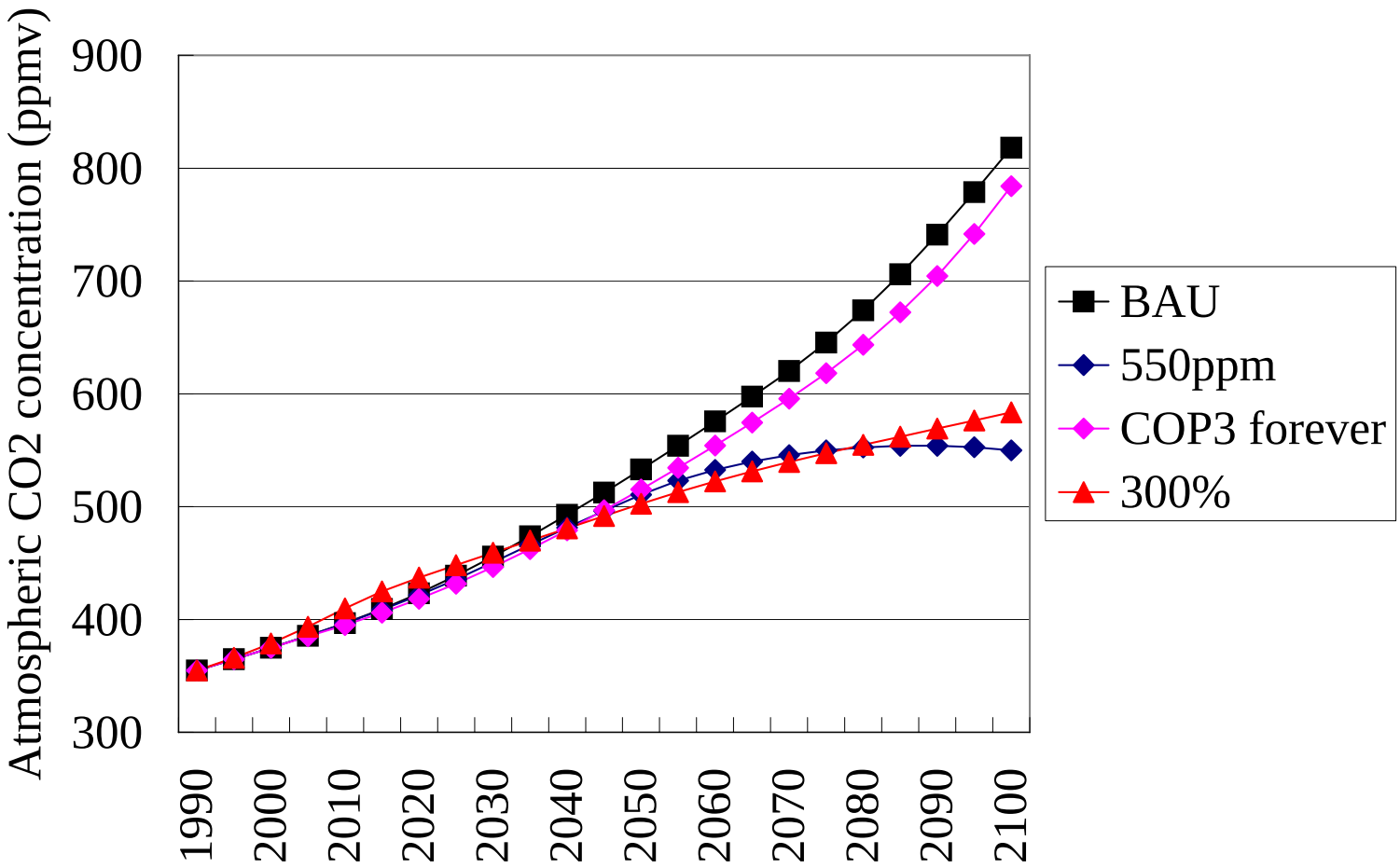
Contributions of each technological option



CO2 emissions



Atmospheric CO2 concentration



DNE21モデルの解析から得られる主要な結論

- 世界全体で技術を組み合わせることでCO_2濃度550ppm安定化は可能。
- CCSと組み合わせることで地球温暖化対策において化石燃料は重要な役割を果たす。
- 削減のタイミングに関する柔軟性が重要。
- 京都議定書は重要な第1歩。
- 削減対策における途上国の参加は不可欠。

日本エネルギー学会「エネルギー学」部会
（2006年11月～）

部会長：山地憲治(東京大学)

幹事：秋澤淳(東京農工大学)、坂西欣也(産業技術総合研究所)、松村幸彦(広島大学)

学融合分科会長：手塚哲央(京都大学)

エネルギー教育分科会長：内山洋司(筑波大学)

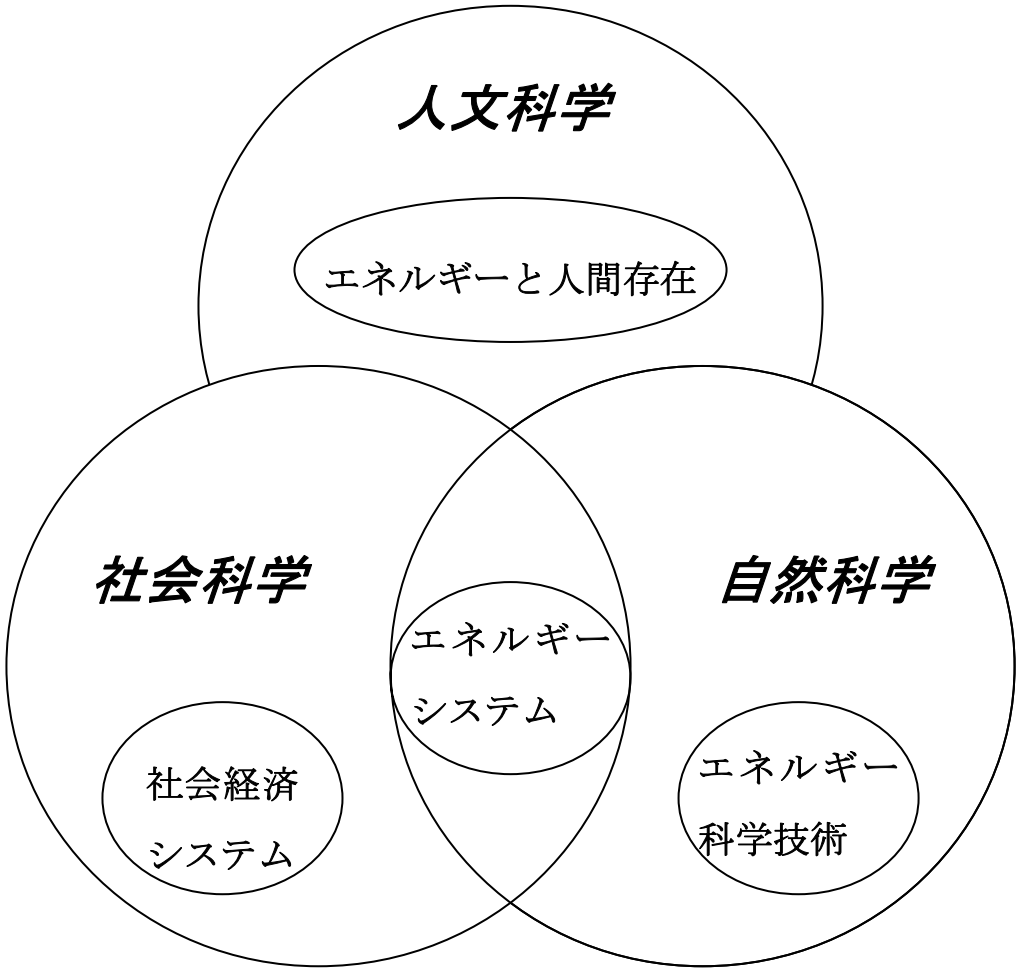
エネルギー政策分科会長：国吉浩(東京工業大学)

「エネルギー学」部会設立に当っての構想検討WGメンバー(上記を除く)：

大内敏文(エネルギー環境教育情報センター)、萩原豪(立教大学)、堀尾正靱(東京農工大学)、美濃輪智明(産業技術総合研究所)、室田泰弘(湘南エコノメトリクス)；アドヴァイザー：浦島邦子(科学技術政策研究所)、松井一秋(エネルギー総合工学研究所)、持田勲(九州大学)

「エネルギーに関する俯瞰的「知」の創出」

日本学術会議で構想していた2000年頃の全体の枠組み



「エネルギー学」とは：

1）エネルギー問題を総合的視点で捉え、工学や理学など自然科学から、哲学・文化・政治・経済など 人文科学、社会科学などの多くの分野を包括し俯瞰する新しい学術

2）『エネルギー学』によって、「人間にとってのエネルギーの価値」の基本概念を構築し、複雑なエネルギー問題の解決に客観的、中立的で透明性のある学問的根拠を提供

3）エネルギーに関する既存分野で蓄積された学問的成果を基盤に、システム概念に基づく方法論を 用いて総合化

3つの分科会：

1）**学融合分科会**：エネルギー・環境問題を総合的視点で捉え、自然科学から人文・社会科学まで多種多様な分野を包括しうるような俯瞰する知としての「エネルギー学」の構築を目指す。

2）**エネルギー教育分科会**：多角的な側面からなる「エネルギー」について、その採掘・収集、変換、消費の体系を理解するとともに、持続可能な発展のための基盤となるエネルギー教育の方法論や支援プログラムの策定を目指す。

3）**エネルギー政策分科会**：エネルギー政策の形成や実施への個人やグループ、国、国際的協調など多様な参加者と参加形態を視野に入れ、工学をはじめとする各学問分野のエネルギーに関する知見を活用しつつ、社会において考慮すべき様々な要素のバランスを取り、調和を図っていくエネルギー政策のあり方について提示することを目指す。

「エネルギー学」部会ホームページから

認識科学:「存在（あるもの）」の世界を対象とする学術

例：自然科学全般、理論経済学など物理学を範として発展した科学

設計科学:「当為（あるべきもの）」の体系を対象とする学術

例：法学、役に立つという動機に基づく工学

認識科学における統合(還元的な知の統合):

例：エネルギー概念の成立など異なる分野が共通の原理や法則に支配されていることが認識されることによって進展する。

設計科学における統合(生成的な知の統合：abduction):

例：サイバネティックスなど異なる分野における対象の表現法や研究の手法の類似性、ツールやプラットホームの共有による新しい論理の構築などを通して達成される知の統合。

認識科学と設計科学およびそれらにおける学術の統合

（日本学術会議：「知の統合－社会のための科学に向けて」（2007）より

シンボル・システム：文化や思想、法などの広義の当為の体系

－シンボルはその要素であり、人間や社会はこのようなシンボル・システムによって現実を認識するとともに、そのシンボルそのものを設計する。

－シンボル・システムによって、人間は自分を超えた全体を認識し、組織や社会がアイデンティティを保つ。

－シンボル・システムは、実証される客観的存在ではないが、人間・社会に全体性を与え、安定性をもたらす。

3つの秩序原理：

「法則」：物質科学の秩序原理
　変容不可能かつ背反不可能(内容の客観性)

「信号性プログラム」：生命科学の秩序原理
　変容可能だが背反不可能(関係性の客観性)

「シンボル性プログラム」：人文・社会科学の秩序原理
　変容可能かつ背反可能(相対的な視座だが論理的客観性)

シンボル・システムの概念と人文・社会科学の秩序原理

（日本学術会議：「知の統合－社会のための科学に向けて」（2007）より

「エネルギー学」が検証すべきコト:

エネルギーに関する意思決定について:

・科学・技術としての成立性
・経済的合理性
・人間・社会における正当性

ご清聴有難うございました。