

IIASA-RITE国際シンポジウム2007

東京灘尾ホール

平成19年3月12日

RITE PHOENIXプロジェクト

産業連関を考慮した排出削減の経済 影響とボトルネック経済部門

(財)地球環境産業技術研究機構 (RITE)

研究員 本間 隆嗣 (HOMMA Takashi)



本発表の流れ

- I. 本研究の背景と目的
- II. 動学的多地域多部門エネルギー経済モデルDEARS*の概要
 - *Dynamic Energy-economic Analysis model with multi-Regions and multi-Sectors
- III. 産業構造変化を考慮した中期緩和策評価
 - I. CO₂排出削減の産業構造への影響
 - II. CO₂排出削減によるGDPへの影響
 - III. S450ケースにおいて大きなGDPロスが発生させる部門の特定
 - IV. S450ケースにおいて大きなGDPロスが発生する理由
- IV. 結論

◆ 背景

従来の温暖化緩和策評価に関する研究では、以下のような問題点があげられる。

- 多くのエネルギーシステムモデル(例;MERGE,MESSAGEなど)は、エネルギー技術を詳細にモデル化され、CO2排出制約下におけるエネルギーシステムの動的変化の分析には適するが、動的な産業構造変化も含めて分析することが困難であった。

- 一方、エネルギーシステムモデルとCGE(応用一般均衡)モデルの統合モデル(例;AIM,MIT-EPPA)も存在するが、それらのシミュレーションは再帰的手法によるもので、最適な資本蓄積経路や経済成長パスを求めることが困難である。

エネルギーシステムと**産業構造**の両者の変化を考慮した地球温暖化緩和策評価は、既存研究では十分に議論されていない。

◆ 目的

本研究では、エネルギーシステムと産業構造に関する地域的差異を考慮した上で、気候政策による経済影響を評価することを目的とする。
この評価を実施するために、本プロジェクトでは新たに世界多地域多部門エネルギー経済モデル DEARS*を開発した。

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

エネルギー経済モデルDEARSの概要

Dynamic **E**nergy-economic **A**nalysis model with multi-**R**egions and multi-**S**ectors

- ◆ トップダウン型の経済モジュールとボトムアップ型のエネルギーシステムモジュールの統合モデル
- ◆ 動学的非線形最適化モデル (割引後総消費効用を最大化)
- ◆ 経済モジュールは主にGTAP(ver.5)データベース(産業連関表)をベースとする。
- ◆ エネルギーモジュールはDNE21モデルをやや単純化したフローで定式化する。
- ◆ 世界18地域分割。
- ◆ 非エネルギー産業は18部門分割。
- ◆ 一次エネルギー7種、二次エネルギー4種。CCS技術も考慮。
- ◆ モデル評価期間は2047年まで。(計算は2067年まで実施。)

DEARSモデルの入力・出力項目

CO2排出パス

- リファレンスシナリオ
- CO2排出抑制シナリオ

DEARS

モデル出力

- GDP
- 部門別エネルギー消費量
- 部門別付加価値額
- 部門別中間投入額
- 最終需要

モデル入力

- 人口
- 技術進歩率
- 投入産出係数
- 貿易バランスシナリオ
- etc.
- 一次エネルギー賦存量と価格
曲線
- エネルギー変換効率
- CCSポテンシャル・コスト
- etc.

Economic Module

Energy systems
Module

Optimization

- 一次エネルギー生産量
- 発電電力量
- CO2貯留量
- エネルギー価格
- CO2排出量
- 限界削減費用
- etc.

産業構造・エネルギーシステムを考慮した2050年までのCO2政策の世界及び地域別の評価が可能。

18非エネルギー産業分類と11エネルギー種

◆ 18非エネルギー産業分類

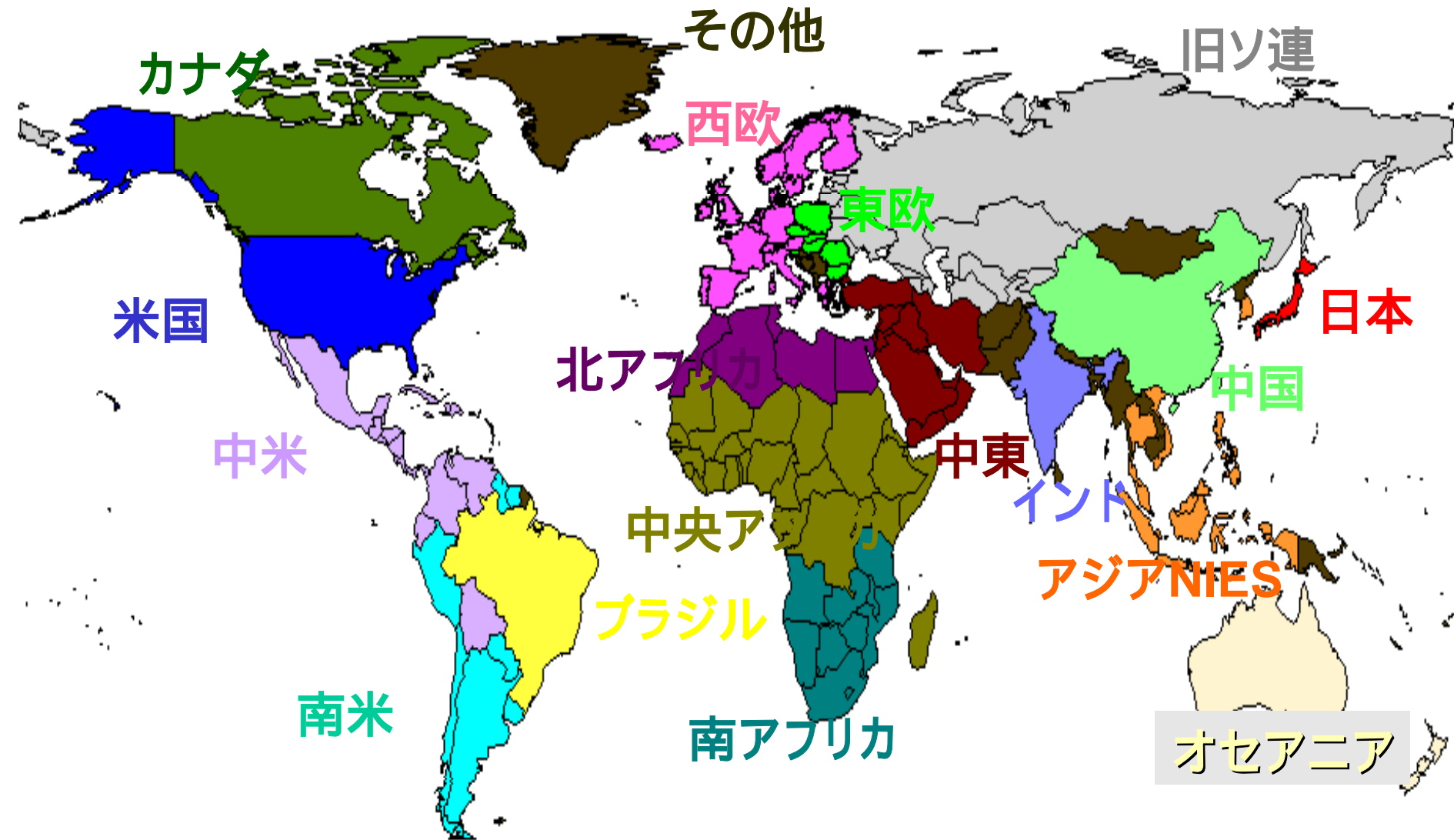
鉄鋼	Iron and steel	製材	Wood and wood products
化学	Chemical industry	建設	Construction
非鉄金属	Non-ferrous metals	繊維	Textile, wearing, and apparel
非金属	Non-metallic materials	その他製造	Other manufacturings
輸送機械	Transport. equipments	農業	Agricultural products
その他機械	Other machinery	運輸(陸水運)	Transportation
鉱業	Minings	航空	Aviation
食料品	Food products	ビジネスサービス	Business services
紙・パルプ	Paper, pulp and printings	社会サービス	Social services

◆ 一次エネルギー7種、二次エネルギー4種

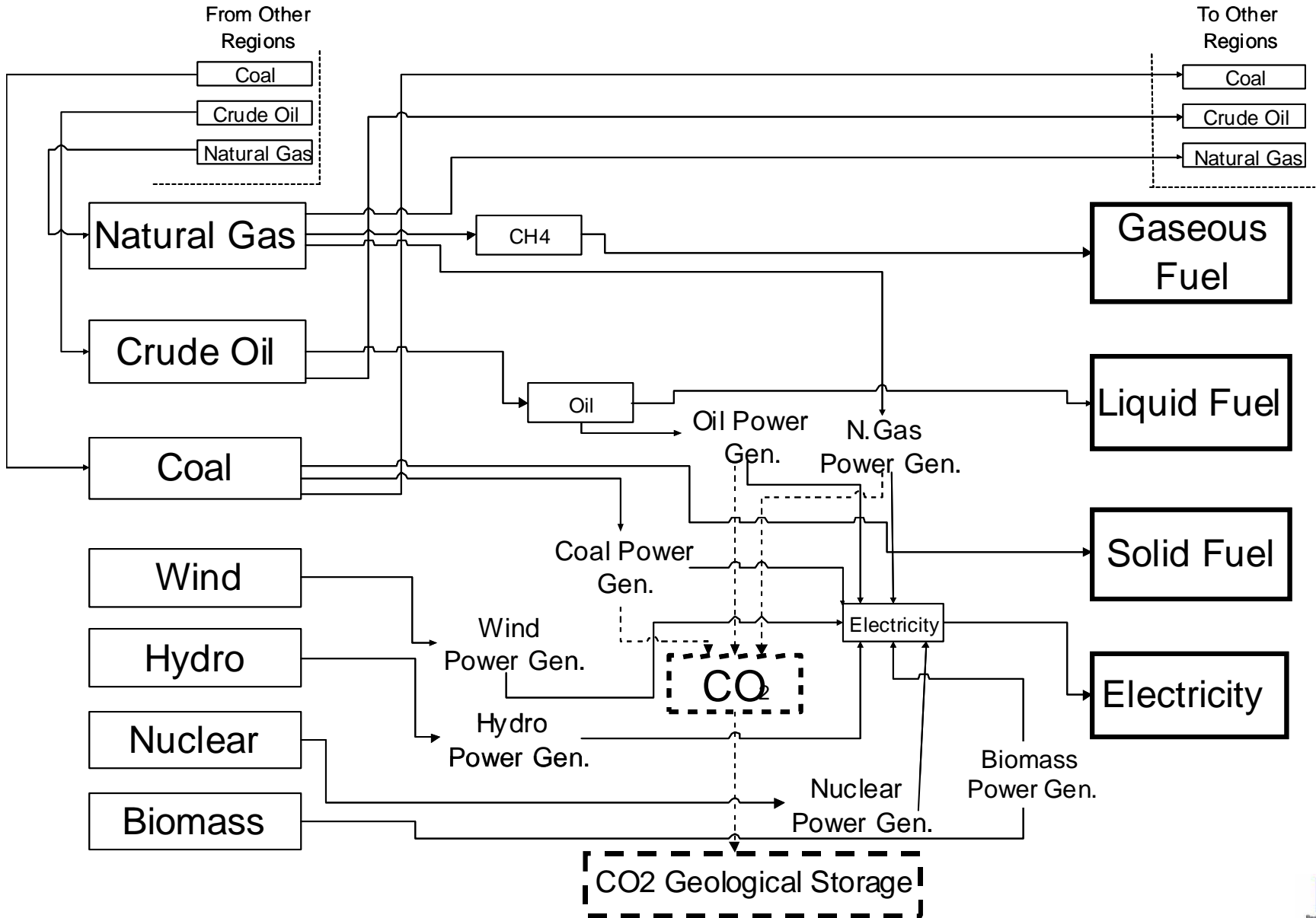
Coal	Primary Energy
Crude Oil	
Natural Gas	
Biomass	
Wind	
Hydro	
Nuclear	

Solid Fuel	Secondary Energy
Liquid Fuel	
Gaseous Fuel	
Electricity	

世界18地域分割



想定したエネルギーフロー



シミュレーションケース設定

モデル想定:

減耗率: 5%/Yr, 割引率: 5%/Yr, 人口: IPCC-SRES B2 シナリオ

シミュレーションケース:

◆ CO2排出パス:

- ✓ リファレンスケース (Ref): 特段の温暖化対策を講じない場合
- ✓ IPCC-WGI S650, S600, S550, S500, and S450 ppmv 濃度安定化ケース
(CO2-S650, S600, S550, S500, S450 cases)*

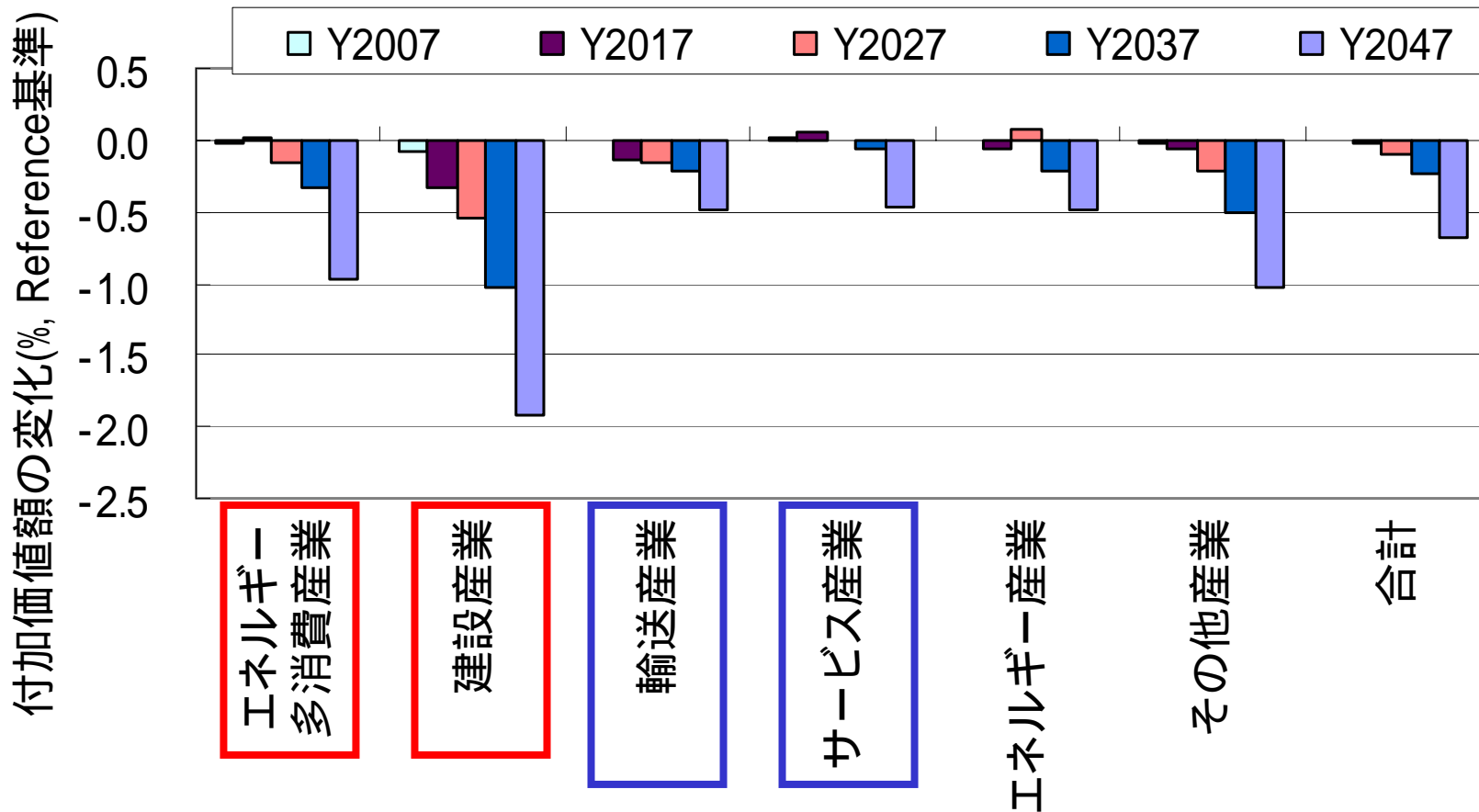
*濃度安定化ケースでは、排出量取引有り、世界のCO2排出量がIPCC-WGI濃度安定化パスを超えないように制約される。

◆ 生産プロセスの技術 (中間投入係数) シナリオ:

- ✓ 時点別中間投入係数シナリオ (将来の産業構造やロストウ効果を考慮し、EU推定法により将来の時点別・地域別の投入係数を推定)

S550ケースにおける部門別生産ロス

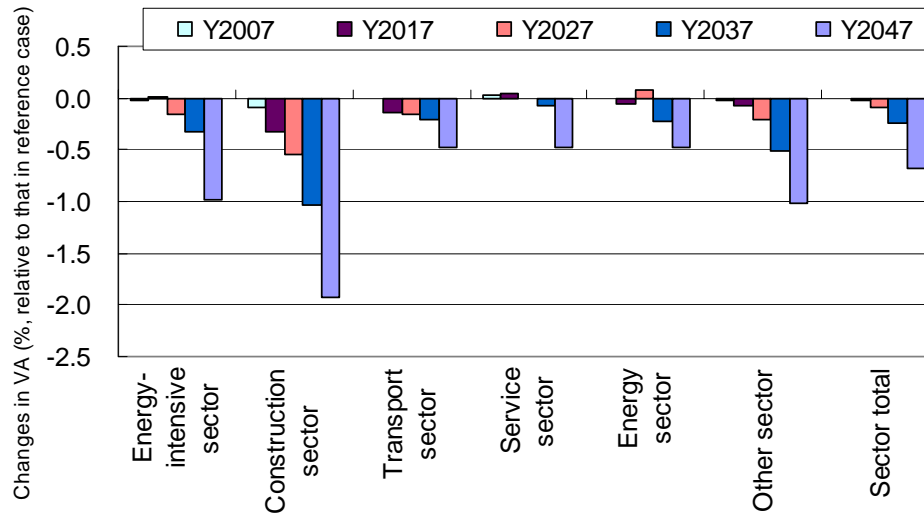
◆ 部門別の付加価値生産額のロス(リファレンス比)



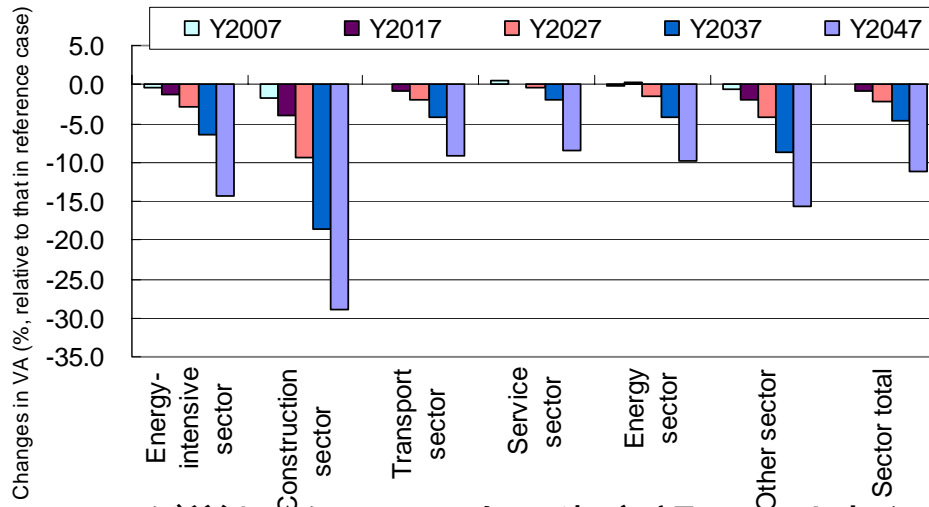
濃度安定化レベル別の部門別生産ロス

◆ 部門別の付加価値生産額のロス(リファレンス比)

CO2-S550(上)



CO2-S450(下)



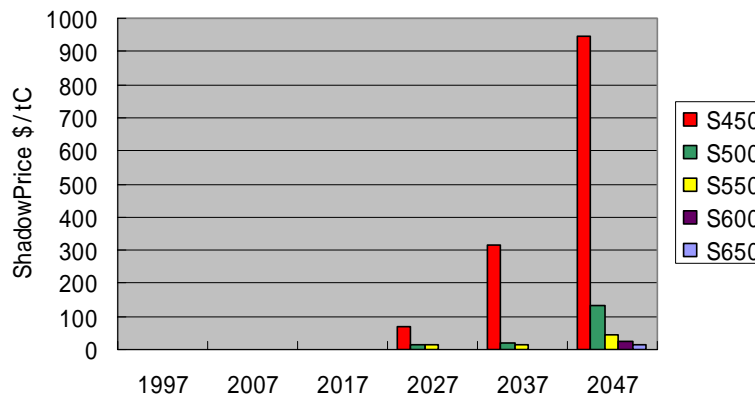
濃度安定化レベルが厳しくなるにつれ、生産額ロスは大きくなるものの、産業別のインパクトの相対的な傾向は濃度安定化レベルによらずほぼ同様。

CO2削減によるGDPへの影響

◆ 各排出シナリオ(CO2 only)のGDPロス(リファレンスケース比)

Year	S450	S500	S550	S600	S650
1997	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2007	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2017	0.77%	0.06%	0.02%	-0.02%	-0.03%
2027	1.94%	0.20%	0.10%	-0.05%	-0.05%
2037	4.62%	0.58%	0.24%	0.00%	-0.03%
2047	11.12%	1.67%	0.68%	0.32%	0.20%
2050 (DNE21)	1.33%	-	0.40%	-	0.32%
2050 (Stem Review)	around 1% (500-550 CO2 eq)				

◆ 各排出シナリオのCO2シャドープライス



•S500-S650までは既存エネルギーモデルの結果と大きな差はない。

•S450になると、DEARSモデルの結果はGDPロス・CO2シャドープライスが急増する。

S450ケースにおいて大きなGDPロスが発生させる部門の特定

- 仮想的な技術*が各産業部門に導入され、2027年以降に各産業のCO2排出係数が50%改善された場合の、世界GDPへの影響を比較評価する感度分析を実施した。

*コストフリーとし、技術の詳細は明示的に扱わない。

部門別のCO2排出係数50%改善における世界GDPロス(S450ケース)

	S450 通常ケース	CO2-50% 排出改善ケース(S450)								
		鉄鋼	化学	輸送機械	その他 機械	紙・パル プ	建設	ビジネス サービ ス	輸送	
Y2007	0.01%	0.01%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%
Y2017	0.79%	0.74%	0.64%	0.78%	0.75%	0.78%	0.78%	0.69%	0.69%	0.04%
Y2027	2.08%	1.84%	1.47%	2.04%	1.90%	1.99%	2.00%	1.74%	1.74%	0.07%
Y2037	4.74%	4.51%	3.93%	4.70%	4.56%	4.68%	4.67%	4.19%	4.19%	0.34%
Y2047	11.28%	11.00%	9.94%	11.20%	10.97%	11.24%	11.12%	10.14%	10.14%	1.60%

*S450 通常ケースは、上記の仮想的な技術導入がないS450ケースを意味する。

- ◆ 輸送部門におけるCO2排出削減が、GDPロスの緩和に大きく貢献する。
 GDPロス(S450-Y2047) : 通常ケース 11.3% 輸送部門50%改善ケース 1.6%

S450ケースにおいて大きなGDPロスが発生する理由

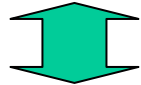
DEARモデルと代表的エネルギーシステムモデルとの違いとして、以下の2点が考えられる。

1. 経済活動に関するモデル化の違い

DEARSモデルでは明示的に産業の連関構造をレオンチェフ型生産関数によって表している。



各産業へのエネルギー投入の燃料種間の代替性は、価格上昇による省エネ効果を考慮しつつも、やや固定的である。



既存研究のエネルギーシステムモデルでは、経済活動を1マクロ経済部門として表現し、明示的な産業間の連関構造は有していない。



産業構造の変化に制約がないために、CO₂排出制約時において、産業部門が必要とするエネルギー需要の燃料種間代替は極めて柔軟に対応できる。

2. エネルギー技術想定の違い

既存研究のエネルギーシステムモデルで考慮されているエネルギー技術のいくつかは、DEARSモデルでは、想定を行っていない。(例;バイオマス液化プロセス等)



輸送部門の燃料需要に大きな影響を与える可能性のあるバイオマス液化プロセス技術の想定の有無による効果を評価するために、次の感度分析を実施した;

DNE21モデル(エネルギーシステムモデル)におけるS450のGDPロス

1.3% (バイオマス液化プロセス**有**)

1.8% (バイオマス液化プロセス**無**)



エネルギーシステムモデルにおいては、輸送部門への影響が大きいバイオマス液化のエネルギー技術想定が大きなGDPロスを引き起こす要因とはなっていない。

S450ケースにおいて大きなGDPロスが発生する理由のまとめと、モデル結果への示唆

- 多部門モデルであるDEARSと、1経済部門・詳細なエネルギー技術モデルであるDNE21 (エネルギーシステムモデル)のモデル構造の違いが、厳しい排出抑制時におけるGDPへの影響に大きな違いをもたらす。
- 特に、エネルギー需要の燃料種代替の柔軟度に関するモデル想定がGDPロスに大きな影響を与える。



どちらの解がより現実的であるかは一概に評価することは難しいが、それぞれのモデル構造を踏まえた上でモデルの結果を評価することが重要である。



既存研究のエネルギーシステムモデルによる評価は、CO₂排出削減量が大きい場合におけるGDPロスを楽観的に過小評価している可能性が示唆される。

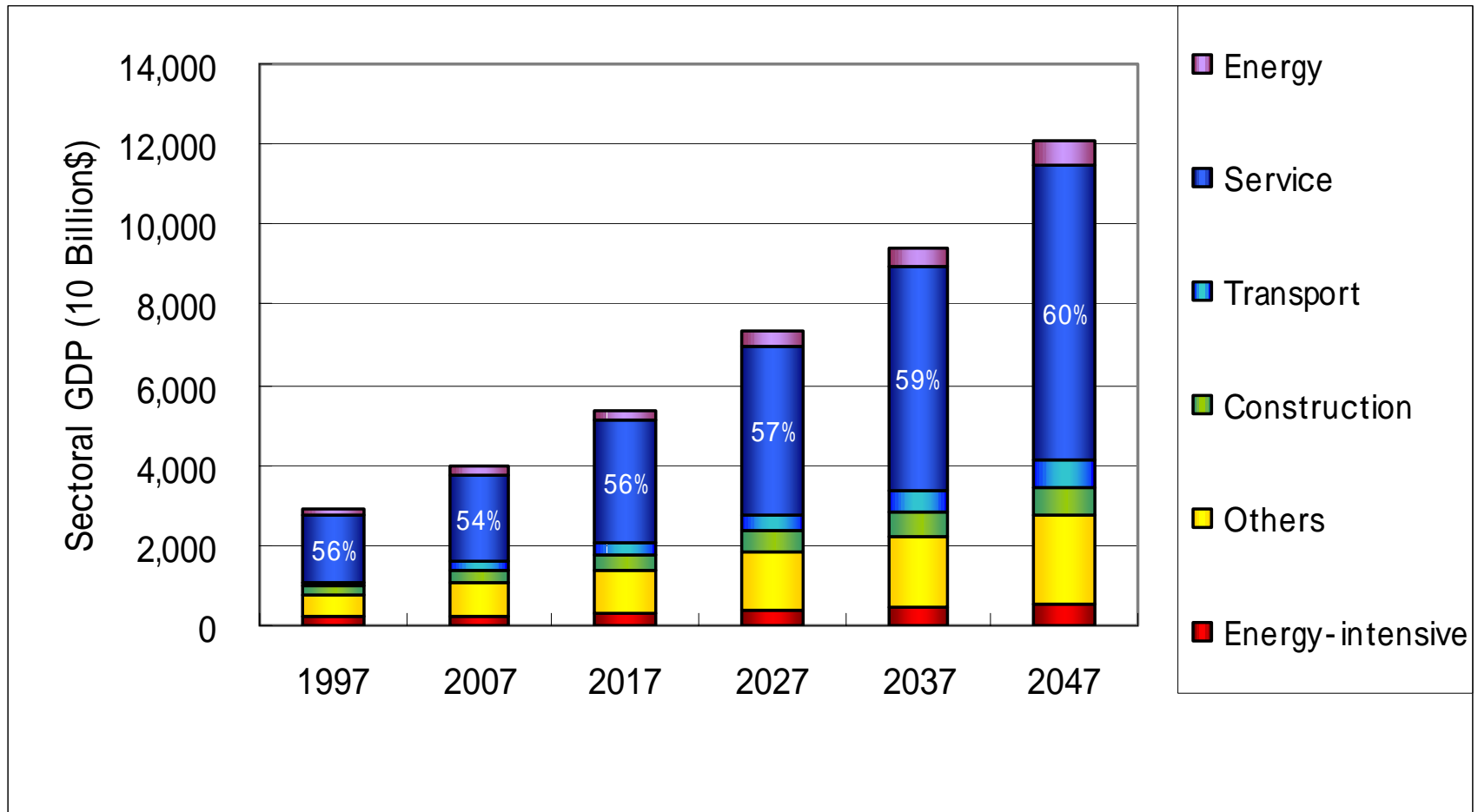
結論

- ✓ CO₂濃度安定化ケースにおいては、エネルギー多消費産業や建設産業の付加価値額生産のロスが相対的に大きく、サービス産業や輸送産業のロスは小さい。
- ✓ 温暖化緩和策コストがGDP比数%以内という従来の評価結果は、**450 ppmv-CO₂ only**以下へ抑制する場合には楽観的すぎる可能性がある。（最終エネルギー需要の燃料種間の代替の柔軟度の想定が大きく影響する。）
- ✓ 大きなGDPロス無しで**450 ppmv-CO₂ only**以下への抑制を可能にするためには、**輸送部門**においてCO₂排出改善の革新的技術が安価に導入されることが有効である可能性が大きい。

Appendix

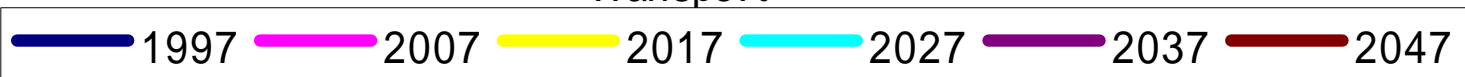
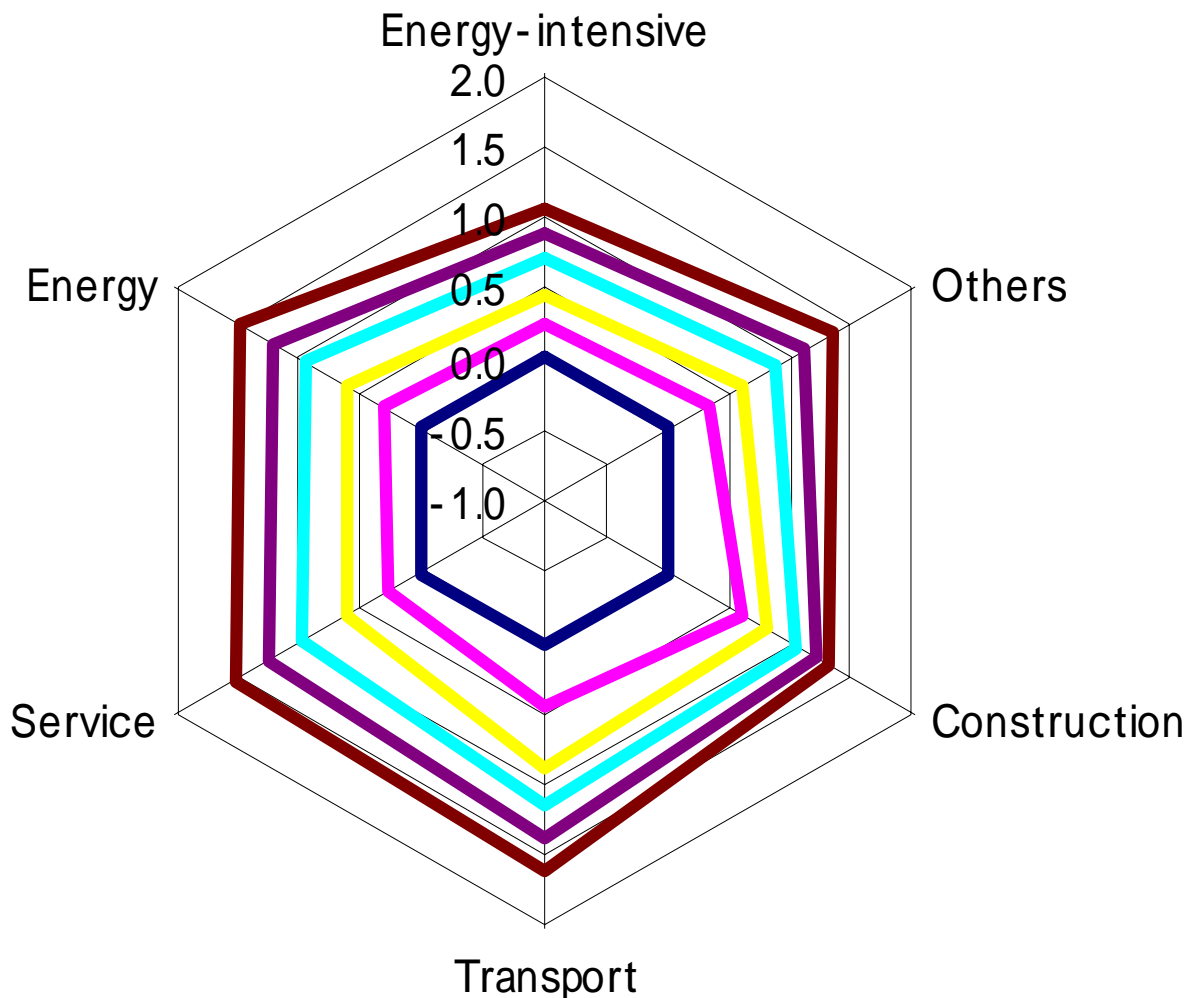
Simulation study

Srctoral GDP in the Reference case



Simulation study

Sectoral Growth rates of in the Reference case (Y1997=0)



Model Structure of Economic Module

- ◆ Non-energy sectors: Leontief-type production function
- ◆ Macro-economy: Cobb-Douglas type production function
(capital, labor, electricity, and non-electricity)

- ◆ Objective function:

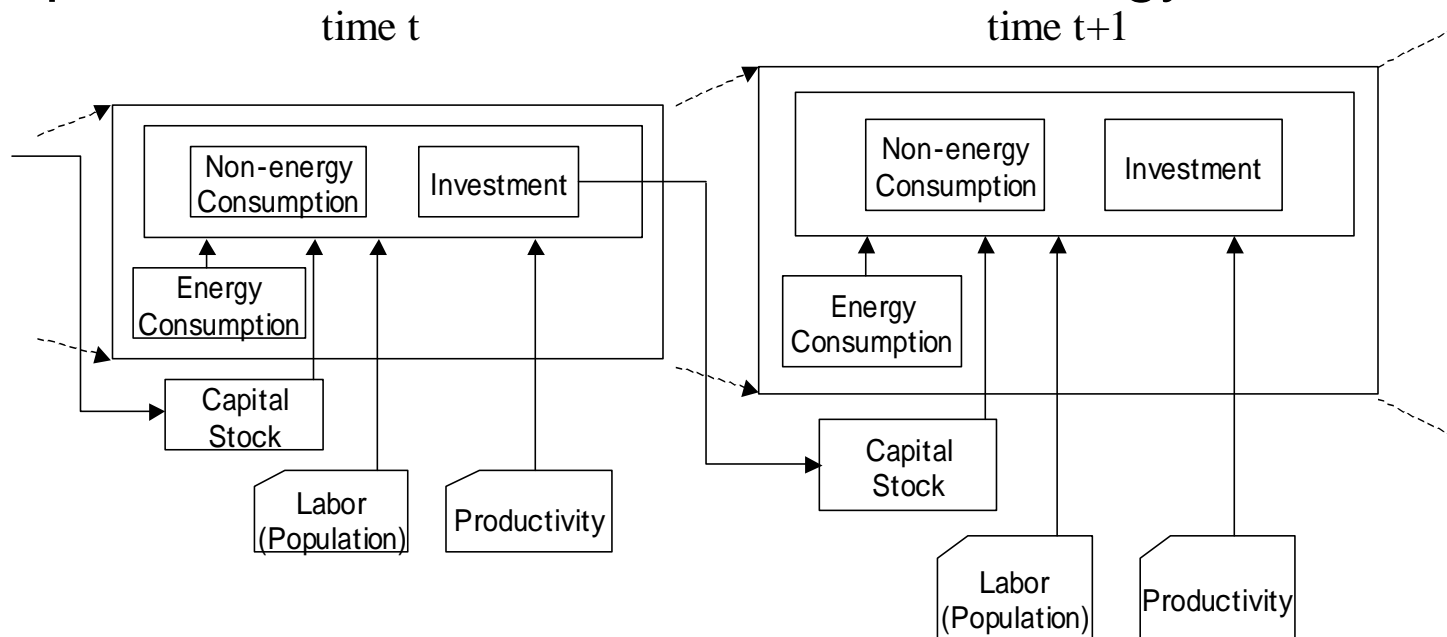
$$\text{Maximize } \sum_t d_t \cdot \sum_r L_{r,t} \cdot \sum_i \theta_{i,r} \cdot \log \frac{C_{i,r,t}}{L_{r,t}}$$

i, j:	sector
t :	time
r :	region

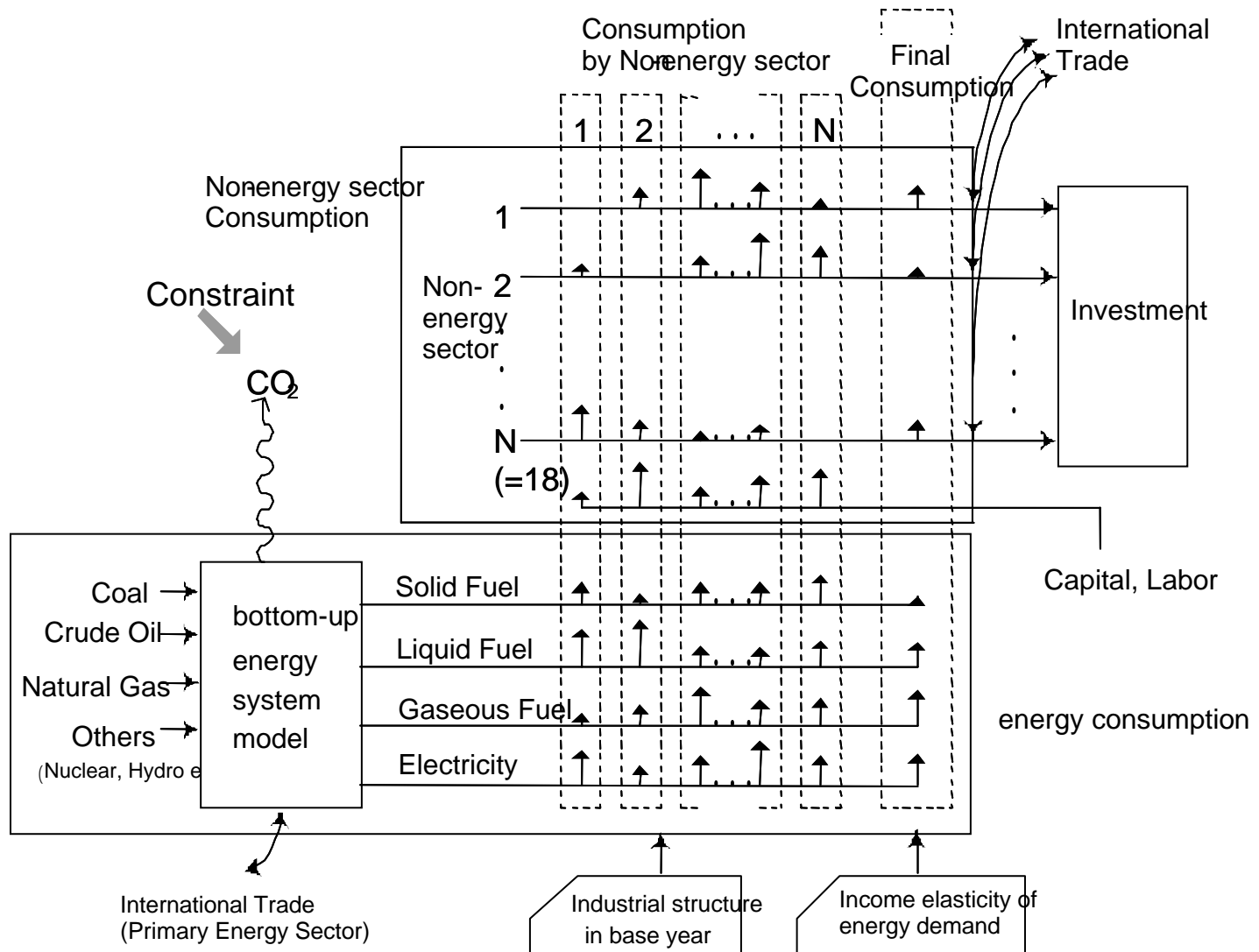
C : consumption

θ : sectoral consumption weight (exogenous), d: discount factor (exogenous) , L: population (exogenous)

- ◆ Capital stock and investment in non-energy sector

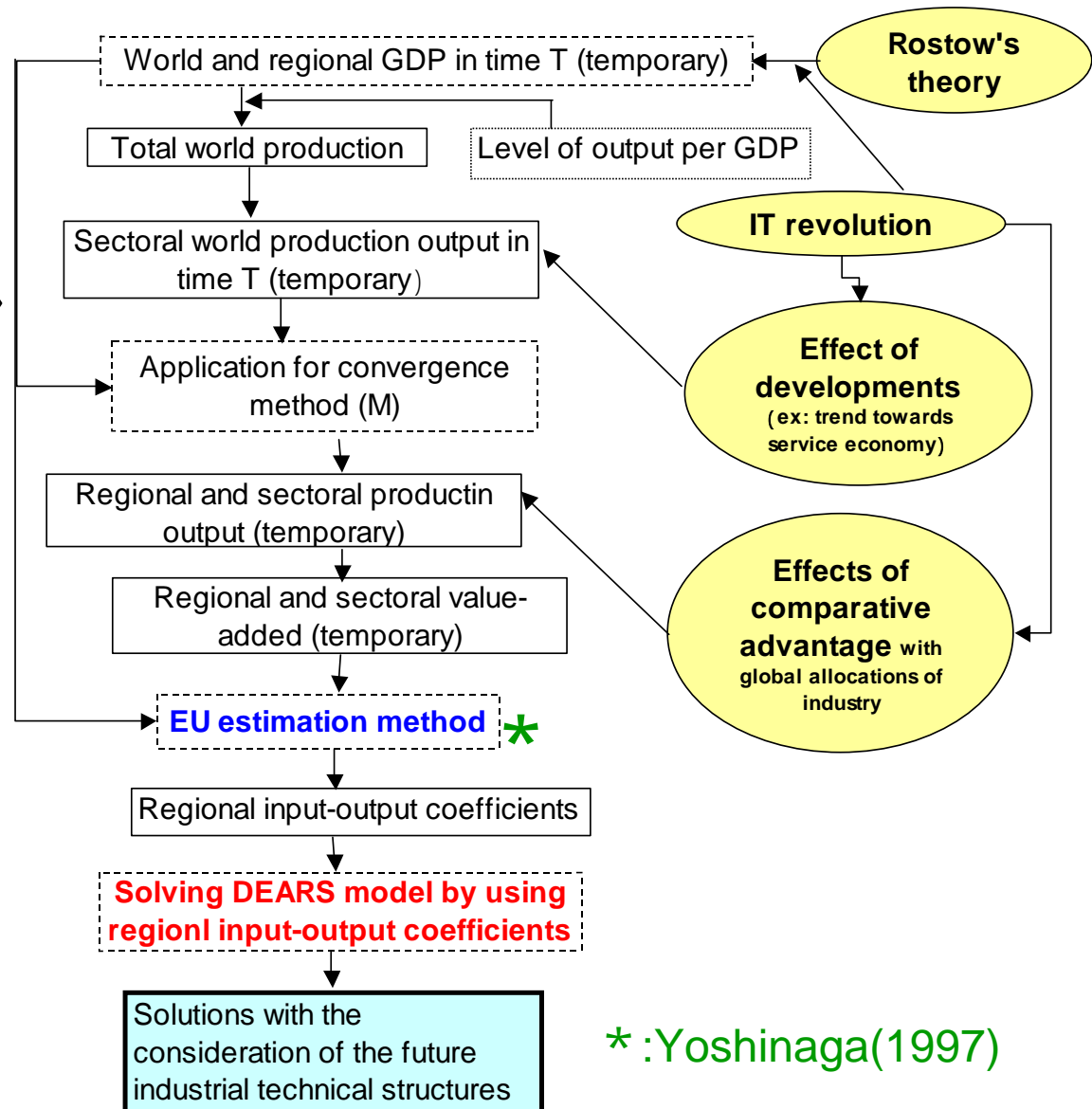


Integration of Energy and Non-energy Sectors in DEARS



Estimation methods for input-output coefficients

The utilization of EU method requires the macro assumptions of the possible path of economic developments.



Assumed technical structure of production processes (input-output coefficients) scenario

Sectoral response and effect ratios estimated by EU method in the year 2027 in the “China” region (Example)

Sector	Response ratio			Effect ratio		
	(1) Fixed	(2) Variable Tehcnical structure	(3) Greater IT penetration	(1) Fixed	(2) Variable Tehcnical structure	(3) Greater IT penetration
Iron and steel	1.26	0.94	0.95	1.32	1.26	1.26
Chemical products	2.13	2.32	2.07	1.25	1.20	1.18
Non-ferrous metals	0.91	0.71	0.69	1.37	1.23	1.19
Non-metalic metals	0.87	0.74	0.76	1.17	1.23	1.26
Transport equipments	0.91	1.23	1.19	1.28	1.34	1.32
Other machinery	2.41	4.03	4.21	1.28	1.32	1.34
Other mining activities	1.19	0.68	0.76	1.15	1.39	1.34
Food products	0.73	0.56	0.56	1.07	0.91	0.92
Paper, pulp, and printings	0.92	0.79	0.78	1.13	1.07	1.06
Wood and wood products	0.61	0.56	0.56	1.18	1.20	1.18
Construction	0.50	0.55	0.55	1.22	1.31	1.34
Textiles	1.31	0.77	0.76	1.20	1.19	1.24
Other manufacturing	0.76	0.65	0.64	1.11	1.17	1.24
Agriculture	1.28	0.65	0.68	0.83	0.84	0.83
Transportation	1.43	1.48	1.43	0.97	1.08	1.10
Aviation	0.50	0.55	0.54	1.08	1.16	1.17
Bussiness service	2.40	4.04	4.16	0.83	0.87	0.88
Social service	0.84	1.08	1.03	0.87	0.91	0.92

***Bold** indicates that the ratio is larger than that of fixed technical structure scenario.