

## JCER-CGEモデルによる 温暖化対策の分析

2010年9月11日

日本経済研究センター 落合勝昭  
関東学園大学 武田史郎

1

## JCERにおけるCGEモデルへの取組

- 中期目標検討委員会ワーキングチーム
  - 3つの削減率(7,15,25%)の経済影響分析(09年3月)
  - DP121で公開(2000年表版モデル)
  - <http://www.jcer.or.jp/report/discussion/detail3875.html>
- 地球温暖化問題に関する閣僚委員会タスクフォース
  - 25%削減を大前提に政策シナリオ分析(09年11月)
  - DP126で公開(2005年表版モデル+データ作成)
  - <http://www.jcer.or.jp/report/discussion/detail3932.html>
- GTAPによる世界モデル(09年度経済産業省委託)
- CGEモデルによる全量固定価格買取制度の分析(10年7月)

2

## JCER-CGEモデルの特徴

- MIT-EPPAモデルの構造、パラメータを参考
- 産業連関表を基準データとした逐次動学・一国CGEモデル
- 既存の資本と新規の資本を区別(新規資本のみ産業間の移動、要素代替が可能)
- エネルギー関係と運輸関係を詳細に扱う
- 基準データにはない部門(太陽光発電等の新エネルギー)を導入

3

## 2000年版モデルと2005年版モデルの 相違点

	中期目標検討委員会 (09年3月)	タスクフォース (09年11月)
基準データ	2000年産業連関表 購入者価格表形式: 行ごとに購入者価格ベース(税抜)で一物一価 消費税率とCO2係数は産出先により相違	2005年産業連関表 GTAPデータ形式: 行ごとに生産者価格ベースで国内財・輸入財別に一物一価 消費税率とCO2係数に加え、輸入比率・マージン率が産出先により相違
部門分類	41部門×41財 鉱物燃料採掘部門は、石炭、原油、天然ガスの3財を生産 電力財は火力、原子力、水力・地熱の3部門で生産 自家輸送を各産業から分離して自家輸送部門を設ける	43部門×43財 同左 + 水運と航空を国内部門と国際部門に分ける
労働	労働供給内生(余暇との代替)	同左(パラメータを実証分析に基づき見直し)
排出規制	100%オークション方式の排出権取引(鉄鋼原料炭は対象外) 排出権収入は家計に一括還流	同左+ 外洋輸送と国際航空の排出は総排出量に含めない 排出権収入をグリーン投資、グリーン消費に振り向けるオプション

4

## 2005年版モデルの部門分類 (43産業43商品)

行部門		列部門	部門	
1	農林水		24	上下水道・廃棄物処理
2	鉱業 (金属鉱物採掘)		25	商業
3	石炭		26	金融・保険
4	原油	鉱業 (鉱物燃料採掘)	27	不動産
5	天然ガス		28	鉄道輸送
6	食料品		29	道路輸送 (旅客)
7	繊維		30	道路輸送 (貨物)
8	パルプ・紙・木製品		31	自家輸送 (旅客)
9	化学		32	自家輸送 (貨物)
10	石油製品		33	水運 (外洋輸送)
11	石炭製品		34	水運 (国内輸送)
12	窯業・土石		35	国際航空輸送
13	鉄鋼		36	国内航空輸送
14	非鉄金属		37	その他運輸
15	金属製品		38	通信・放送
16	一般機械		39	教育・研究
17	電気機械		40	医療・保健・介護
18	輸送機械		41	対事業所サービス
19	精密機械		42	対個人サービス
20	その他製造業		43	一般政府
21	建設			
22-1	電力	火力発電		
22-2		原子力発電		
22-3		水力・地熱		
23	ガス・熱供給			

黄色の部分がエネルギー財

5

## 産業連関表からCGE用社会会計表の作成

- DP126でモデルとともにデータ作成プログラムを完全公開
  - 産業連関表基本分類表が統計局HPから電子媒体で入手可能になった。
  - GAMS上で一貫してデータ加工するように改良
  - 基本分類段階でデータ加工しているので、対応表を変更するだけで簡単に部門分類を変更できる。
- 消費税と本体価格を分離しているのが特徴
- CO<sub>2</sub>排出量は物量表から推計
  - 物量表は基本的に一物一価を前提に作成されているので改善の余地あり(既存エネルギー関係税など)
  - 国環研3EIDのβ版が公開されたので、物量表からの乗り換えを検討中。

6

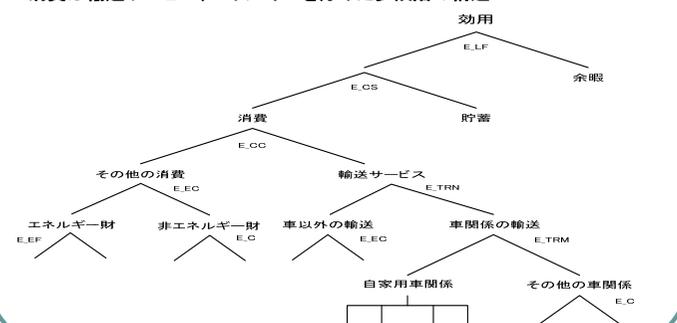
## モデルの基本構造

- 家計(消費者)
  - 生産要素は家計が保有(労働、資本、特殊生産要素、CO<sub>2</sub>排出権)
  - 所得定義式の下で効用最大化
- 企業
  - 利潤最大化: 完全競争下ではゼロ利潤
- 財市場、生産要素市場の需給均衡
- 政府部門、海外部門の収支は一定
  - 政府消費(外生) - 税収(税率外生) = 家計からの純移転
  - 対外収支(外生) = 輸出 - 輸入  
→ 為替レート (= 外貨需給の価格、内生)
- 排出規制は、国内でのオークション方式によるキャップ・アンド・トレードを想定
  - トレードの収入は家計にランブサムで還流

7

## 家計の効用関数

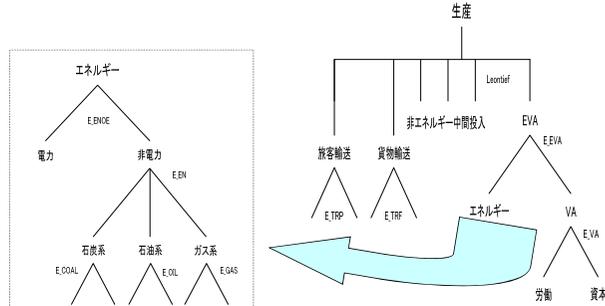
家計の効用は、消費、貯蓄、余暇の3つに依存  
消費は輸送サービス、エネルギーを分けた多段階の構造



8

## 生産関数(電力、一次産品以外の産業)

### エネルギーと輸送サービスを別扱いにした多段階のCES型生産関数



電力のうち原子力と水力・地熱、一次産品については特殊生産要素(他部門では利用できない生産要素; 発電立地や農地)がレオンチェフ型で加わる。

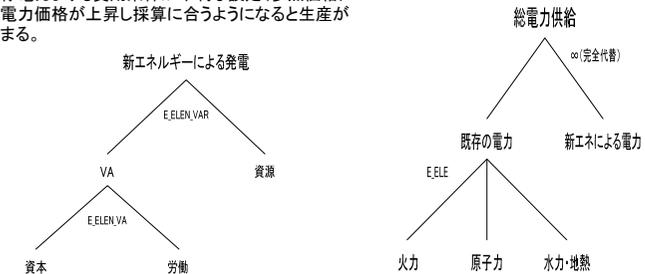
9

## 新エネルギーと電力の統合

新エネルギーによる発電  
特殊生産要素による生産のコントロール

既存電力よりも費用条件が不利な設定(参照価格)  
→ 電力価格が上昇し採算に合うようになると生産が始まる。

既存の3発電の生産する電力は  
不完全代替で統合



10

## 動学メカニズム(資本蓄積)

Putty-Clayな資本ストック

- 資本は一旦据付けた部門からは移動できない。
- 新たな投資(新規資本)は、資本収益率に応じて部門間に配分される。

$$INK_t = I_{t-1} \quad I_t: t \text{ 期の投資, } INK_t: t \text{ 期の新規分の総資本ストック}$$

$$INK_t = \sum_j CET_j(NK_{t,j}) \quad NK_{t,j}: t \text{ 期の部門 } j \text{ における、既存資本ストック}$$

$$VK_{t,j} = (1-\delta) \times (VK_{t-1,j} - NK_{t-1,j}) \quad NK_{t,j}: t \text{ 期の部門 } j \text{ における、新規資本ストック}$$

- 新規資本を使った生産についてのみ、
  - エネルギー財と資本・労働の間の要素代替(CES生産関数)
  - 生産性上昇とAEEI(エネルギー効率の改善)
- 既存資本を使った生産関数はレオンチェフ型、每期新規資本が加わることで次期の投入係数がアップデートされていく。
- 労働については、既存資本との間での固定性を仮定。

11

## BAUとCO<sub>2</sub>削減パスの設定

- BAUのマクロフレームとして、経済成長率(2005-20年平均1.3%)の下で、20年のエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量が90年GHG比5%増となることを共通前提とする。(需給見通し「努力継続ケース」)
- CO<sub>2</sub>排出制約のないシミュレーション解が上記共通前提と一致するように、労働生産性とAEEI(趨勢的なエネルギー効率の改善)を設定。
- CO<sub>2</sub>削減ケースでは、08年以降20年の目標値までを線形補間した値を排出上限とする。(エネ起CO<sub>2</sub>が90年GHG比▲23%、それ以外のGHG寄与と合わせて▲25%)
- 原子力、水力・地熱発電による電力供給量は「努力継続ケース」の想定で固定。

12

## 産業連関表アップデートの影響 資料2:1ページ

	2000年表	2005年表	
		パラメータ変更	パラメータ変更
		なし	BAU設定
余暇・労働比率	0.158	同左	0.667
余暇と労働の代替弾力性	1.5	同左	0.66
生産性上昇率	1.9%	同左	2.45%
AEEI	1.5%	同左	2.2%
新エネルギーの参照価格	1.7	同左	同左
BAUの			
成長率	1.29%	1.13%	1.30%
CO2排出量 (MtCO2)	1,123	1,144	1,121
▲25%ケースの			
限界削減費用 (円/tCO2)	81,555	83,933	70,653
GDPへの影響	▲3.2%	▲3.5%	▲3.3%
新エネルギーの電力シェア	11.7%	15.2%	13.7%
再生可能エネルギー割合	—	9.1%	8.7%

- 2005年表では2000年表よりも投資率が低いことが一因
- 生産性上昇率、AEEIについて信頼できる値がある場合は、前提となるマクロフレームを達成するように投資率を設定することが考えられる。(新規資本分であることに留意)
- マクロベース年率に換算すると、TFP:0.8%、CO2/GDP改善率:1.8%

13

## 政策シナリオ分析(設定) 資料2:2ページから

- 再生可能エネルギー割合の目標(20年に10%程度)が真水▲25%ケースで実現するように新エネルギーの参照価格を設定
  - 習熟効果を導入:初期値2.0、導入後10年間で45%生産性上昇(中期目標検討委員会およびタスクフォース感度分析では1.7で一定)
- 海外クレジット購入ケース(5,10,15%)では、
  - 海外クレジット購入分だけ国内(真水)削減率を縮減
  - 経常黒字を増やしてクレジット購入額をファイナンスする(国際排出権価格は外生:3,000円/tCO2から5,000円に段階的に上昇)。
- 国際協調ケースとして原油価格の低下(10%)を見込む。
- 排出権価格発生に伴う収入は、基本シナリオでは家計に一括還元。
  - オプションとしてグリーン投資・消費に一定割合(5%ずつ)を振り向け

14

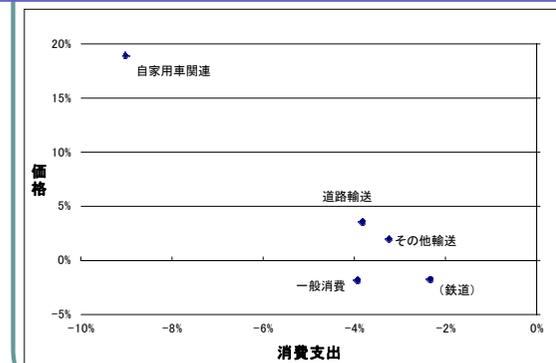
## 海外クレジット購入、原油価格の影響

2020年のBAUからの乖離率(限界削減費用は2020年のCO2価格[円/tCO2])

	中期委3/27 試算	真水▲25% 原油安	真水▲25% 原油安	真水▲20%	真水▲15%	真水▲10%	真水▲10% 原油安
GDP	-3.2	-3.1	-3.2	-2.1	-1.3	-0.8	-0.8
(真水▲25%との差)		-0.04		1.03	1.78	2.34	2.30
雇用者報酬	-12.5	-11.4	-11.3	-7.9	-5.1	-2.9	-2.8
可処分所得	-4.5	-4.5	-4.2	-3.0	-2.0	-1.2	-0.8
家計消費	-4.5	-4.4	-4.0	-2.9	-1.9	-1.2	-0.7
(真水▲25%との差)		0.39		1.47	2.48	3.22	3.70
設備投資	-0.4	-0.7	-0.3	-0.4	-0.3	-0.3	0.2
(真水▲25%との差)		0.38		0.24	0.35	0.41	0.84
輸出	-6.8	-7.2	-8.8	-5.2	-3.5	-1.9	-3.9
輸入	-3.8	-4.9	-4.2	-3.7	-2.8	-2.0	-1.2
粗生産(全産業)	-3.7	-4.1	-4.2	-2.9	-2.0	-1.2	-1.4
粗生産(製造業)	-4.6	-5.9	-6.5	-4.2	-2.9	-1.7	-2.4
粗生産(エネルギー消費産業)	-7.7	-8.4	-8.6	-6.1	-4.2	-2.6	-2.8
粗生産(資本財製造業)	-3.1	-4.9	-6.1	-3.5	-2.3	-1.3	-2.6
電力価格	124.7	117.0	118.0	77.0	44.2	20.4	21.8
最終エネルギー消費	-22.2	-17.6	-17.4	-13.6	-10.0	-8.6	-8.3
民生家庭エネルギー消費	-17.6	-15.9	-15.5	-11.4	-7.4	-4.1	-3.4
電力生産	-18.3	-19.9	-20.1	-15.9	-12.0	-8.1	-8.4
雇用量	-1.5	-1.7	-1.9	-1.2	-0.7	-0.4	-0.5
限界削減費用	81,555	63,180	65,871	39,078	21,940	10,620	12,823
新エネルギー/電力	11.7	17.5	17.6	13.4	10.0	7.0	7.1
再生可能エネルギー導入割合		10.2	10.2	8.6	7.3	6.0	6.0
光熱費(金額)	81.0	69.0	69.7	46.1	27.0	12.9	13.0
効用	-2.1	-1.5	-1.2	-1.0	-0.6	-0.4	-0.0
実質為替レート	-4.8	-4.3	-5.1	-2.9	-1.8	-0.9	-1.9

15

## 消費支出と価格の関係 タスクフォース真水25%削減の影響

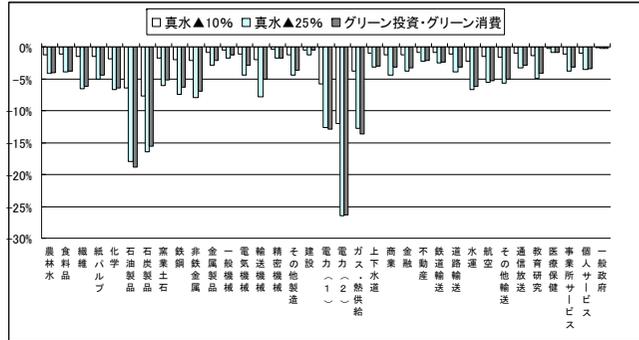


排出制約により、モータルシフトが生じている。  
家計消費は4.4%減少している。

中期目標検討委員会の分析については資料1:29ページに記載

16

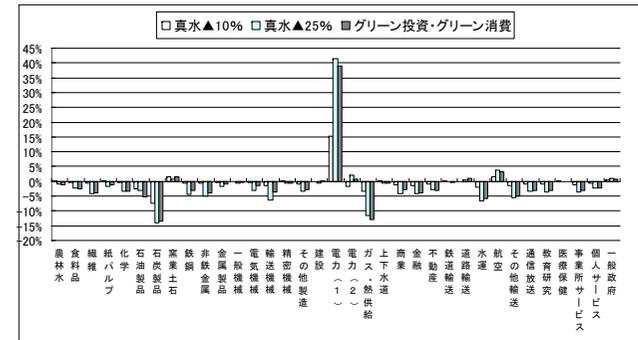
## 各シナリオの産業別影響(産出額)



2020年のBaUからの乖離率を見ている。  
電力(1)は新エネ込み、電力(2)は新エネを除いている。

17

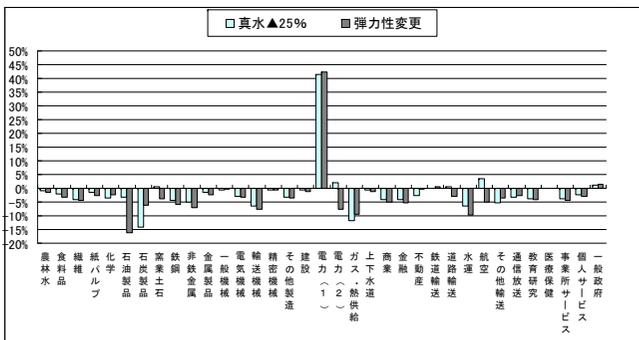
## 各シナリオの産業別影響(労働力)



2020年のBaUからの乖離率を見ている。  
電力(1)は新エネ込み、電力(2)は新エネを除いている。

18

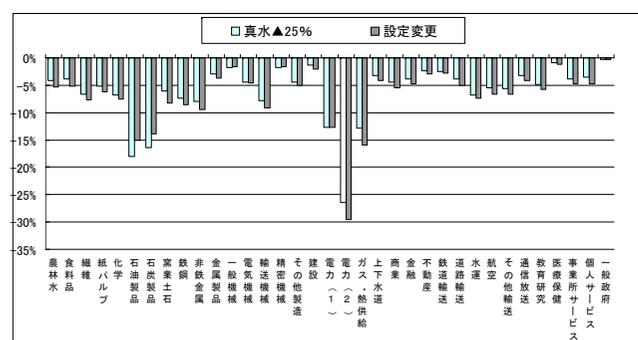
## 産業別影響(労働力) 代替のパラメータ変更



一律で、資本と労働の弾力性:1.0、エネルギーと付加価値の弾力性:0.4を与えていたことから、電力などの産業で労働への代替が起こり労働が増えているため、資本と労働の弾力性については、大規模資本産業を0.1、商業、サービスなどを1.0、それ以外を0.5と置いた。エネルギーと付加価値についても、同様の基準で0.1、0.4、0.25という値を与えた。

19

## 産業別影響(産出額) パラメータの修正



資本と労働の弾力性については、大規模資本産業を0.1、商業、サービスなどを1.0、それ以外を0.5と置いた。エネルギーと付加価値の代替率についても、同様の基準で0.1、0.4、0.25を与えた。

20

## パラメータの修正のマクロへの影響

	TF真水 ▲25%	パラメータ 変更
GDP	-3.1	-4.2
雇業者報酬	-11.4	-15.8
可処分所得	-4.5	-6.3
家計消費	-4.4	-6.1
設備投資	-0.7	-1.4
粗生産(全産業)	-4.1	-4.8
粗生産(製造業)	-5.9	-6.5
粗生産(エネ多消費産業)	-8.4	-8.9
粗生産(資本財製造業)	-4.9	-5.6
電力価格	117.0	159.5
最終エネルギー消費	-17.6	-17.2
民生家庭エネルギー消費	-15.9	-20.1
電力生産	-19.9	-21.5
雇用量	-1.7	-2.5
限界削減費用	63,180	89,333
新エネ・シェア/電力	17.5	21.9
再生可能エネルギー導入割合	10.2	11.7
実質賃金	-9.9	-13.7
実質資本収益率	-1.3	-2.0
実質資本収益率(新規分)	-1.1	-1.6
実質為替レート	-4.3	-4.7

- 資本と労働、資本・労働とエネルギーの代替の弾力性の制約を厳しくしたことから、各種指標が悪化していることがわかる。
- 最終エネルギー消費が増加しているが、これはエネルギーから資本・労働への代替ができないため、エネルギーを減らしづらくなっている影響と考えられる。

21

## グリーン投資

- 資本ヴァンテージ型の生産関数  
新規資本(=投資)を使った生産関数でのみ、  
  - 生産性上昇とAEEI(エネルギー効率改善)が効く
  - エネルギー財と資本・労働との間で代替が働く
- 投資が増えるほど、生産面のエネルギー効率改善が進む。
- 逐次動学モデルの限界(貯蓄率外生)を補うメカニズムと位置づけることも可能  
  - Forward-looking型モデルでは、CO2制約強化に伴い投資の前倒しが生じる。

22

## グリーン消費

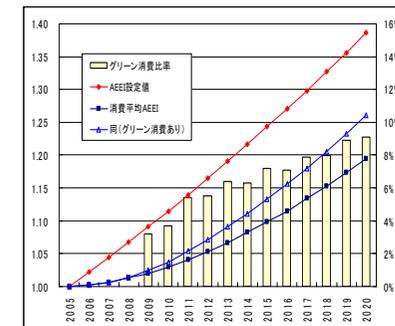
- 家計のエネルギー効率は乗用車や電化製品が省エネ性能の高い機器に入替わることにより改善  
  - 耐久消費財は生産資本のようなストックとして扱われていない。
  - JCER-CGEでは10年サイクルの買替えを仮定して家計のエネルギー効率改善を計算
- グリーン消費として新たな消費ベクトル(商品構成は電気機械と輸送機械)を導入  
  - グリーン消費額に応じて準内生的に家計のエネルギー効率を高める
  - 商品の実質価値がエネルギー効率を反映していると仮定  
    - ✓ 通常の耐久消費財消費額(電気機械と輸送機械の基準時消費額で代用)に対するグリーン消費比率分だけ来期のAEEIが高まる

23

## グリーン消費の定式化

$$tn_{e,t(i,cp)} = t_{aeei,n,t(i,cp)} \times sh_{new,c} \times (1 + sh_{new,c2}) \text{ 新規(買替え)分} + tn_{e,t-1,i,cp)} \times (1 - sh_{new,c}) \text{ 既存分}$$

$t_{aeei,n}$ : 外生で設定するAEEI  
 $sh_{new,c}$ : 0.1(10年サイクルの買い替えを想定)  
 $sh_{new,c2}$ : 前期のグリーン消費の基準消費に対する比率  
 $tn_e$ : 最終的な消費全体のエネルギー効率



24

## グリーン投資・消費の影響

<真水▲25%削減ケースで、排出権収入の5%ずつを振り向けた場合の比較>

	A. 真水▲25%	B. グリーン 投資	C. 消費 (グリーン 効果なし)	D. グリーン 消費	E. グリーン投資& グリーン消費
限界削減費用	63,180	65,024	63,328	59,088	60,635
GDP	▲3.1	▲2.7	▲3.1	▲2.8	▲2.4
消費	▲4.4	▲4.3	▲4.2	▲3.6	▲3.6
投資	▲0.7	0.9	▲1.2	▲1.2	0.2

(注) 消費、投資の値は、グリーン投資・消費を通常の投資・消費に加えたもの。

限界削減費用の単位は「円/tCO2」。

25

## <参考>

### 新エネルギーのフィードインタリフ

- 太陽光発電等の新エネルギーによって発電した電力を、施設設置時に決めた買取価格で一定期間、電力会社が買い取ることにより、現在コスト条件の劣る新エネルギー発電の設置を促進する制度
- 標準的CGEでは個別補助金・間接税は市場を歪め経済厚生にマイナス
  - CO2制約を緩和する技術の導入促進は動的にプラスに働くとともに、習熟曲線の存在によりコストの低下が早まれば動的プラス効果が一層発現することが期待される。

26

## <参考>

### フィードインタリフの定式化

- ① 新エネルギーの新規資本を使った生産に生産補助金を設定し、習熟曲線によるコスト低下に対応して補助率を段階的に引き下げる。
- ② 既存資本を使った新エネルギーの生産には、①の補助率を資本ヴァンテージで加重平均した補助率を適用する。この補助率は投入係数と同様の仕組みで毎年アップデートされていく。
- ③ 補助金額に相当する額を既存電力部門の生産に課税する。(補助金額＝間接税額となるように税率を内生で決定)
- ④ 電力の価格は「既存電力の生産コスト×(1+間接税率)＝新エネルギーの生産コスト×(1-補助金率)」が成立するように決定される。

27

## 二重の配当(税制改革分析)の課題

- 排出権(or 炭素税)収入を他の税の減税に回した場合の効果
  - 現実的には財政健全化のための増税をどの税源に求めるのが望ましいか。
- 労働所得課税:労働供給を阻害
  - 家計の労働供給段階の所得税だけでなく、産業の生産段階のpayroll-tax(社会保険料)を入れる必要
- 資本所得課税:資本蓄積を阻害する
  - Forward-lookingモデルにする必要
  - 比較静学や逐次動学でも現状の税率が部門別に異なれば歪みを是正する効果(租税特別措置の整理)
- 既存のエネルギー課税
  - 石油製品は列部門では1つのため、生産課税ではなく消費(需要)段階での課税にデータを変換する必要

28

## <参考>モデル分析について(1)

### モデル分析はプラスの結果を導けるか？

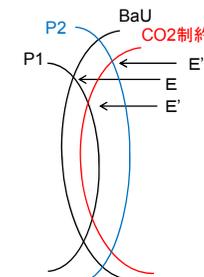
- 温暖化対策(温暖化ガス排出制約)が、社会に追加的な負担(制約)を課す限り、より制約の緩いBaUとの比較を行う経済モデルでは、他のモデルの構造を規定するパラメータに変更が無ければ、分析結果がプラス(最適化の目的変数の状態が改善)になることはありえない。
- 仮に追加的な制約下で改善がなされるのであれば、BaUの状態で最高の結果がなされていないことになる。
- しかし、温暖化対策の効果を考える際には、例えば環境税が導入された場合、単に環境税が追加的な制約として課されるだけでなく、それに伴い他の税制が見直されるなど、モデルの構造を規定する他のパラメータが同時に変更されると考えるのが自然である。
- モデルの構造を規定するパラメータが変更されれば、分析結果がプラスになることはあり得るが、この点についても、BaUの段階で同様のパラメータの変更を行えば、分析結果は改善されることとなるため、その妥当性については精査する必要がある。

29

## <参考>モデル分析について(2)

### モデル分析はプラスの結果を導けるか？

#### モデル分析の概念図



P1: 初期のパラメータ集合  
P2: 事後的なパラメータ集合  
BaU: BaUの設定がモデルの最適化に与える制約  
CO2制約: CO2削減がモデルの最適化に与える制約

- P1, BaUの下での最適解はEであるが、CO2制約に伴い、解がE'となり、E'-Eの部分でCO2制約のマイナスの影響である。この段階ではマイナスになる。  
(注記: Recursive Dynamicsでは、制約の追加がプラスの結果を導くことがある。通時的に改善の余地がある最適化手法のため、追加的制約が偶然最適解を改善することによる。しかし、このようなプラスの結果は最適化手法の不備により起こったものと考えべきである。また、このような場合でも制約を強くしていけばマイナスの結果となる)
- パラメータの設定を温暖化対策に伴う制度設計(税制の変更など)や人々の選好の変化(より環境配慮的になる)、技術進歩への影響を考慮したP2に変更すると、解はE'に変化し、E'-E部分が最終的な影響となる。
- E'-Eがプラスになるかどうかは、モデルの構造とP2の与え方による。

30

## <参考>モデル分析について(3)

### モデル分析はプラスの結果を導けるか？

- Recursive DynamicsもForward Lookingも、単にCO2制約を課せばマイナスの影響
- CO2制約に伴う他のパラメータへの反応の程度が異なる。
- Recursive Dynamicsでも、事後的パラメータの与え方によってはプラスにすることは可能。
- Recursive Dynamics とForward Lookingでは、Forward Lookingの方がより弱い事後的なパラメータの変更でプラス方向の影響を出すことができる。(右で説明)
- なお、1時点(2020年など)ではなく積分値で結果を評価する必要がある。
- Recursive Dynamicsは毎期の最適化の和
- $F_R = \sum_{t=1}^T \text{Max}\{f(x_t, p_t)\}$
- Forward Lookingは通期の最適化
- $F_F = \text{Max} \sum_{t=1}^T f(x_t, p_t)$
- 一般に、 $F_F \geq F_R$ であり、構造パラメータ(p)の変更による最適解の改善の程度も $F_F \geq F_R$ となる。
- つまり、 $F_R$ ではプラスとならないパラメータの変更でも $F_F$ ではプラスとなることがある。

31