

気候変動と地球環境モデルについて

池田 誠*

1. はじめに

2014年11月3日に『気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第5次評価報告書』が発表された。これに先立って、2012年にOECDのWorking Party on Climate Investment and Developmentは、SSPs (Shared Socio-economic Pass) とENVモデルを公表している。このSSPsと、今回発表されたIPCCの排出シナリオ (SRES) の予測とRCP (代表的濃度経路 REPRESENTATIVE CONCENTRATION PATHWAYS (RCPs)) のデータなどを用いて、地球環境モデルを作成し、2100年までの世界の気候変動と食料のシミュレーションを行った結果から得られた結果と今後への提言をまとめる。

キーワード：地球環境、世界モデル、マルチエージェント、システム・ダイナミックス、シミュレーション

2. 世界モデルの類型化と地球環境モデルの位置づけ

人類の問題をモデルとして最初に明示したのはマルサスである。人口と食料生産の関係を食料の供給面から明らかにしている。今日では、マルサスの仮説に異を唱えたボーズラップの「人口増加が食料生産をもたらす」という需要面からの仮説がある。この二つは、供給限界型のモデルと需要牽引型の成長モデルである。長期的には、人口調節のための文化的な規範、例えば晩婚化のための制度や文化・習慣などで多くの地域で均衡してきたことを明らかにした著者のマルチエージェント・シミュレーション (MAS) などがある。これは均衡型のモデルであるが、全ての地域で晩婚化が文化として定着し、安定的な社会に至るわけではない点に注意が必要である。

更に多様な要素から世界をとらえるモデルがコンピュータの発達とともに出現してきた。1972年に『成長の限界』で有名な世界モデル「ワールド・ダイナミックス」がある。これは、システム・ダイナミックスという手法を用いて均衡解を求めるモデルとして作成されシミュレーションされている。2005年の見直し版では、漸近的な均衡ではなく、エコロジカル・フットプリントで測定さ

* 東洋大学国際地域学部：Faculty of Regional Development Studies, Toyo University

れた地球1個分を人類は超えた（オーバーシュート）状態であるが、波動的に変動しながら均衡状態に戻すことは可能であるという波動的な均衡モデルとなっている。もちろん、適切な人類の対応が実施されなければ破局に至るシミュレーション結果となるので破局型のモデルでもある。

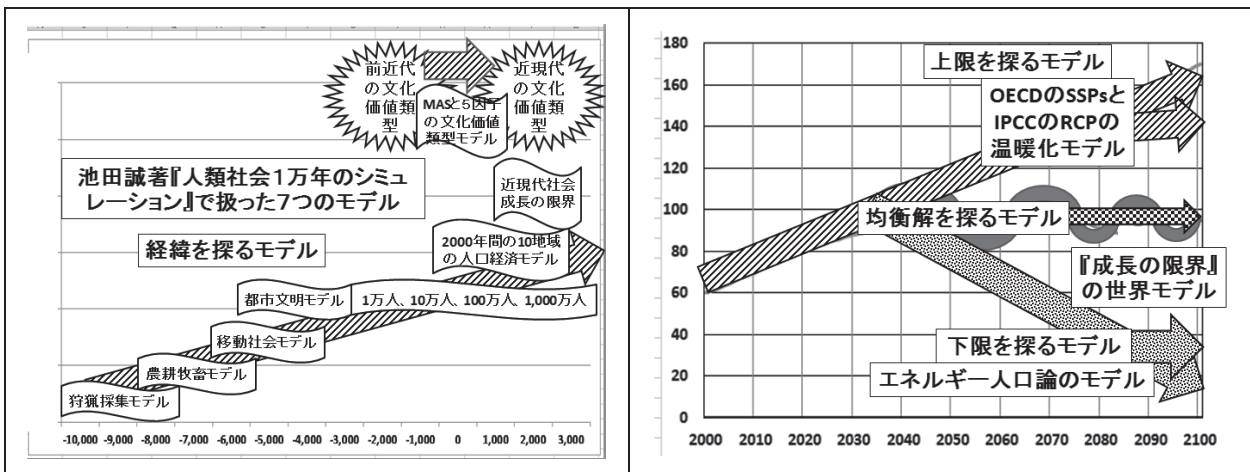
また、近年のピーク・オイル（原油）など、資源の枯渇による人類社会への影響をシミュレーションするモデルはエネルギー人口論をベースにしたモデルなど枯渇モデルといえる。枯渇型のモデルでは、ピーク・ウォーター（水資源）、ピーク・ランド（土壌）、ピーク・リン（リン鉱石）などで、いずれも食料生産に決定的な影響を及ぼすことから世界人口も人類史における農耕・牧畜段階の10億人から20億人程度に激減すると予測している。

筆者は、これらの均衡型モデル、破局型のモデルなどを『人類社会1万年のシミュレーション』（2012）で既にモデル化して紹介している。

本論文の気候変動型の地球環境モデルは、温暖化の危機という側面から、その上限を予測し最悪の事態を如何に最小限に抑えられるか、また、様々なケースで如何に温暖化による異常気象などの影響を緩和（ミチゲーション）し、適応（アダプテーション）できるかという政策を検討するためのモデルである。そのため、（資源）枯渇型のモデルで考慮される原油や水・土壌・リンその他の鉱物資源、食料などが制約となるという仮定は一旦外されている。いわゆる成長型のモデルとして、人口も経済も発展し、エネルギーの利用も温暖化ガス（GHG）の排出（エミッション）が継続し、地球温暖化、異常気象、海面上昇などがどのようなレベルで発生しうるかを予測するモデルとなっている。

以上の世界モデルのタイプは、図1に示すとおりである。

図1 世界モデルの類型化



資料：池田誠作成

3.OECD の ENV モデル

OECD は 2012 年に IPCC の排出シナリオ (SRES) の予測と RCP（代表的濃度経路 RCPs（代表的温暖化パス））を検討するための一つの材料として SSPs（共有化された社会経済パス）を発表した。しかし、IPCC の第 5 次最終報告書（2014 年 3 月）では、SSPs と SRES との明確な関係性は明ら

かにされず、「IPCCの代表的濃度経路（RCP）の2.6、4.5、6.0、8.5の4つのシナリオは、様々な人間活動のシナリオとして表現されることが多いが、このようなシナリオの評価はしない。これらの値は単に指標として考えるべきである。」と明記された。2012年にSSPsの報告書が出た時点では、考え方に大きな開きが生じている。

その背景は、明らかにされていないが、本稿で紹介する気候変動と地球環境モデルを作成するに至った契機となった。SSP1とSSP2の中間に位置するSSP6という日本の提案もあるが、本稿では、一般的なSSPsの経路として取り上げられている5つのSSPsを検討対象とする。その具体的な内容は概略次のとおりである。

SSP1：理想的な世界：教育水準、ガバナンスとも高水準であり、国際協調、その結果技術進歩も高い。教育水準の向上、人口は低位。

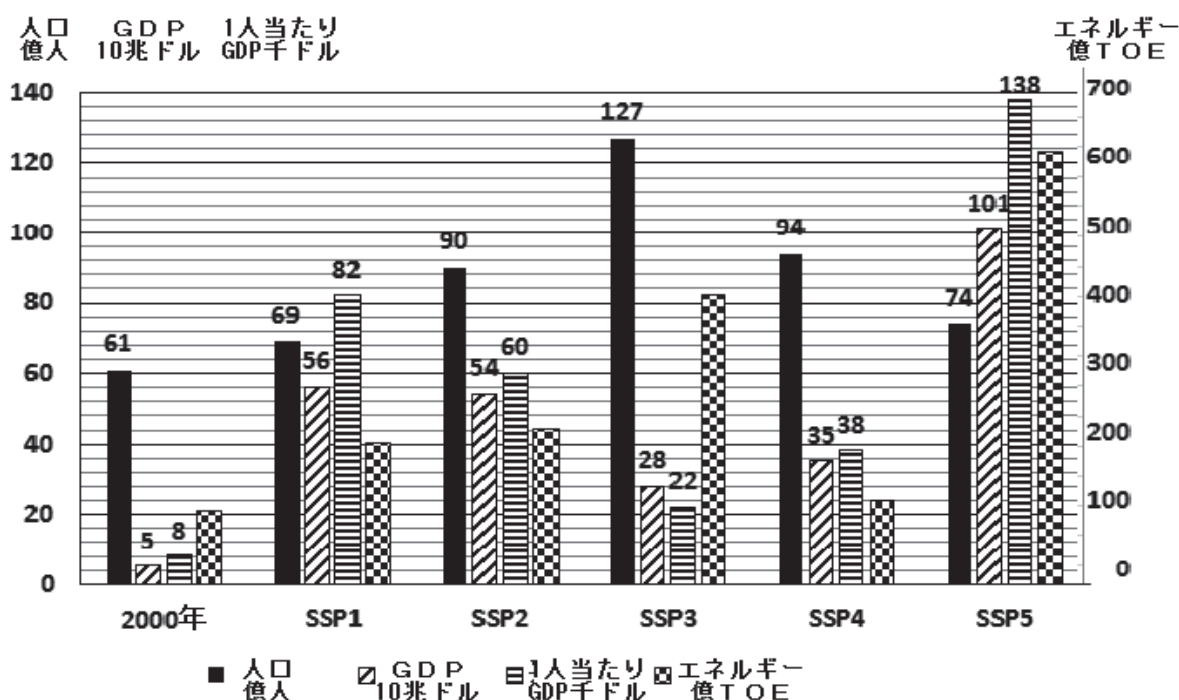
SSP2：中庸？世界：SSP1とSSP3の間、中庸？中間！的世界。

SSP3：好ましくない世界：教育水準、ガバナンスとも低水準、格差は拡大。技術水準は低く、国際社会は分断。出生率は下がらず人口は増加。GHG排出量も増大。

SSP4：分裂社会：国際的、各国内で社会的格差が開く分断された世界。先進国は一部のエリートが支配。技術進歩は高く、エネルギー効率は改善する。一方、途上国では温暖化影響に対して脆弱な地域に住む貧困層は取り残される。

SSP5：化石燃料依存：途上国、先進国ともに高度に技術発展、経済成長する。人口は低位。しかし、非化石系エネルギーの導入は進まず、エネルギー源として化石燃料に強く依存する。途上国の教育

図2 SSPsの描くシナリオの予測値などの数値の概要



資料：Ecosystems Services and Management Program (ESM) @ International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria. The 3rd Global Forest Carbon Working Group Meeting, "Future of Global Forests" 27-29 May 2013 IIASA, Austria をもとに池田誠作成

水準は高いため適応策は容易。

SSPs の描くシナリオの予測値などの数値の概要は図2の通りである。

結果をまとめると、①人口は69億人～127億人、②GDPは280～1010兆ドル、③一人当たりGDPは2～14万ドル、④一次エネルギーは現在と同じ～5倍と大きな差がある。この中で、注目すべき点は、⑤一人当たりGDPが最高の14万ドルと現在の日本の5倍程度になることを想定するSSP5は、石炭・石油・天然ガスと原子力に最も依存している。人口が74億人と比較的少ない予測は、所得が最も高いので出生率が低下することを反映している。⑥ピークオイル説と両立するのはSSP1とSSP4である。

4. 社会経済モデル (ENVモデルと地球環境モデル)

以上のSSPsを取りまとめるために用いられたモデルは様々である。例えば、図3に見られるようにシステム・ダイナミックスの手法が使われているモデルもある。ENV成長モデルでは、図5のように外生的な仮定として、固定的な国別効果、諸規制、減価償却、教育、年齢構成、人口、埋蔵量などをもとに、市場開放、投資、就業比率、失業、エネルギー効率、エネルギー価格、レントの動向、エネルギーの抽出などを内生的な変換ルールでモデル化している。このモデルでは、GDPを全要素生産性、実物資本、労働、エネルギー需要、天然資源付加価値で推計している。

図3 モデルの一部紹介 (エネルギー・サブモデル)

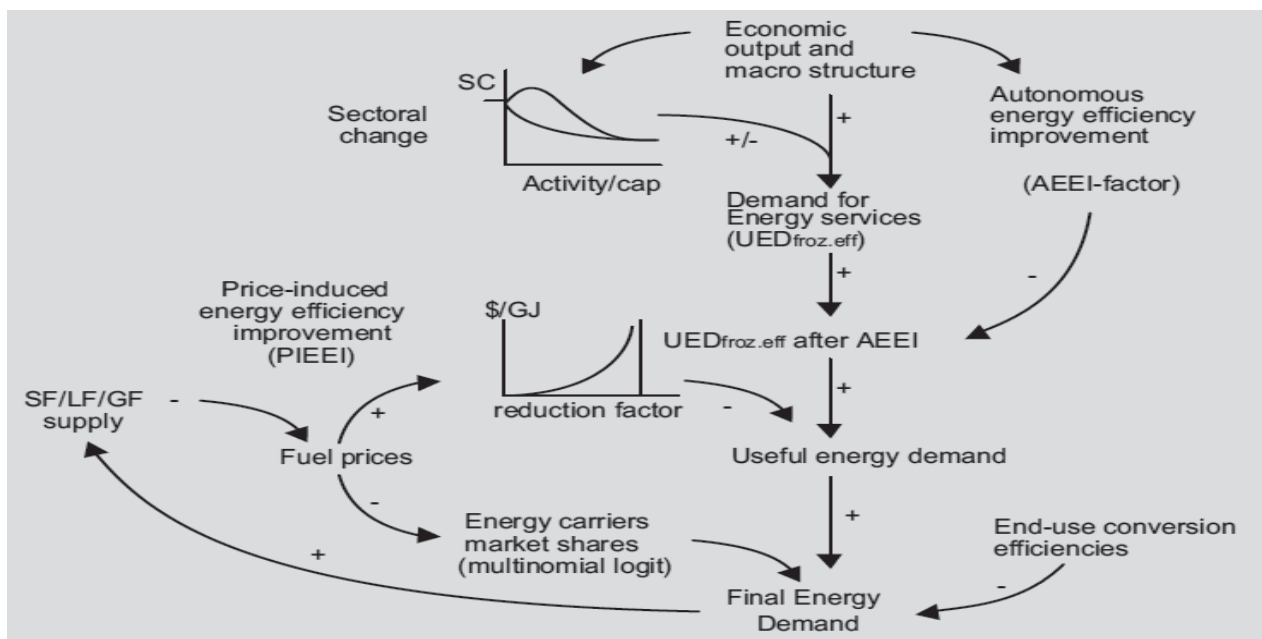
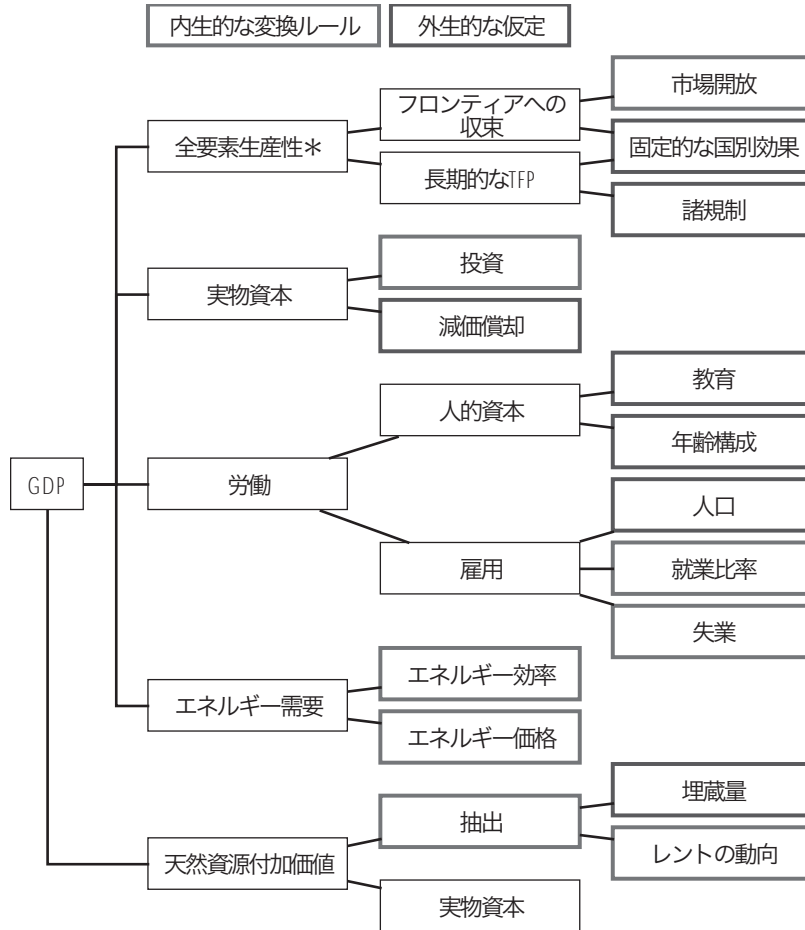


Figure 3.2. System dynamics representation of the Energy Demand sub-model. UED is Useful Energy Demand, i.e. the energy services delivered; SF/LF/GF indicate Solid Fuel, Liquid Fuel and Gaseous Fuel, respectively.

資料：Integrated modelling of global environmental change. System dynamics of the Energy Demand sub-model から引用

図4 OECDのENV成長モデル・スキームの概観

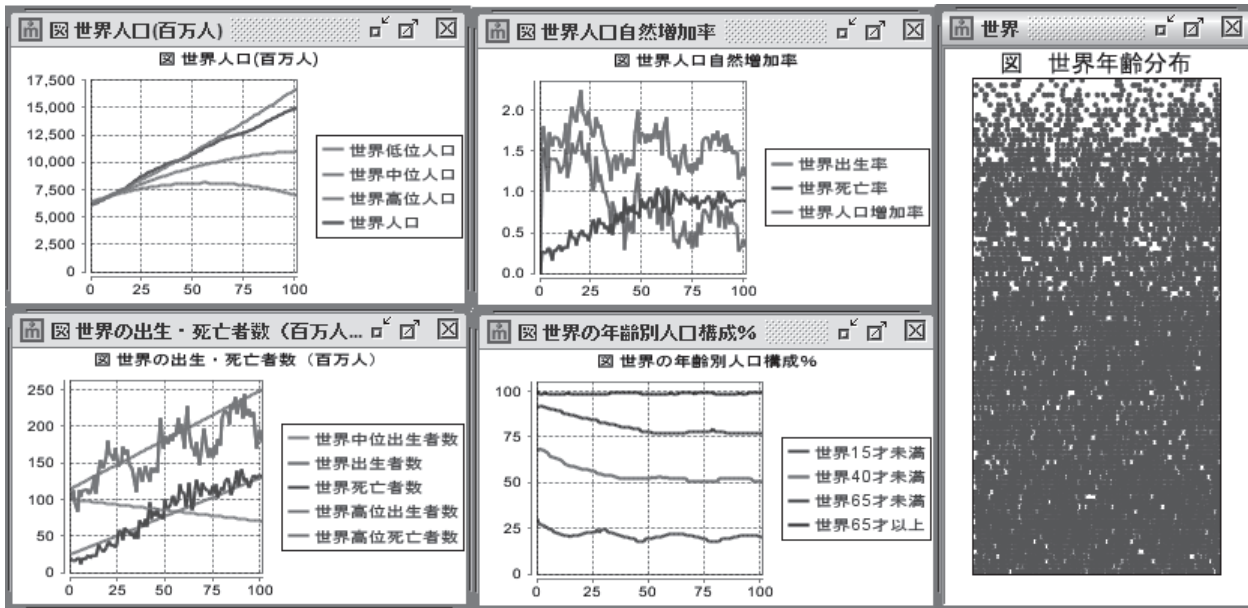


備考：*全要素生産性 (Total Factor Productivity / TFP) とは、「一般に工学的な技術革新・規模の経済性・経営の革新・労働能力の向上などで引き起こされる「広義の技術進歩」を表す指標」とされている。「全要素生産性の上昇は、経済成長や労働生産性向上の源泉となっており、(潜在成長率を上昇させ) 経済成長を今後持続させていく上でも、重要視されるようになってきている。」『日本の生産性の動向 2013 年版』日本生産性本部から引用

資料：Ecosystems Services and Management Program (ESM) @IIASA をもとに池田誠作成

筆者の地球環境モデルでは、最初に国連の人口予測を参考に高位・中位・下位の予測モデルを作成した。そのモデルの出力例は図6のとおりである。左上のグラフの通り世界人口を計算するモデルである。モデルの特徴としては、右側の世界年齢分布のマップのように一人一人の人間が一歳ずつ毎年 (毎ステップ) 年齢が増えるに従って上に移動するモデルで、約 6,000 のエージェント (Agt) で人間を代表しているので人類社会の 100 万分の 1 のモデルである。年齢別の出生率や死亡率で、一人一人の人間 Agt の生死によって人口が増減するいわゆるマルチエージェント・タイプのモデルである。図5の左下：世界の出生者数・死亡者数や、中央上段：計算結果としての世界の人口自然増加率、中央下段：世界の年齢別人口構成4区分などを個々のエージェントから計測している。

図5 地球環境モデルの人口サブモデル（マルチエージェント・タイプのモデル）

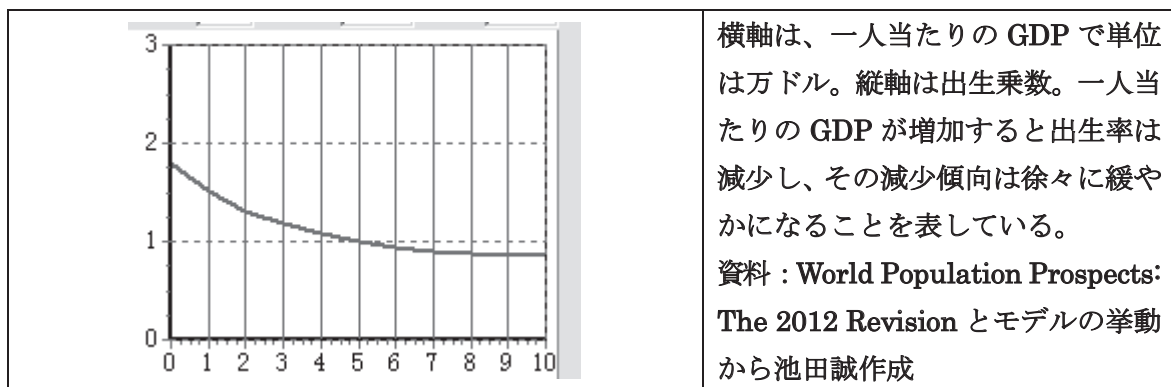


資料：国連 World Population Prospects: The 2012 Revision をもとに池田誠作成

このような筆者の地球環境モデルをベースに、OECD の ENV モデルのキーファクターである「全要素生産性」を用いて経済モデルを追加した。世界人口の高齢化、生産年齢人口の減少などを反映した地球環境モデルに改良した。（その結果は紙面の都合上省略する。）

さらに、一人当たりの GDP（経済的な豊かさ）が教育や女性の社会的地位向上、晩婚化などを通じて世界的に出生率が低下する傾向にあることから、図6のような一人当たり GDP と出生乗数（出生率に乗算で影響を及ぼす係数）のテーブル関数を仮定した。この関数を用いて、OECD の ENV モデルが外生変数としていた人口をモデル内で計算される内生変数化して世界の人口予測を行った。その結果も紙面の制約から後でまとめて紹介することとする。

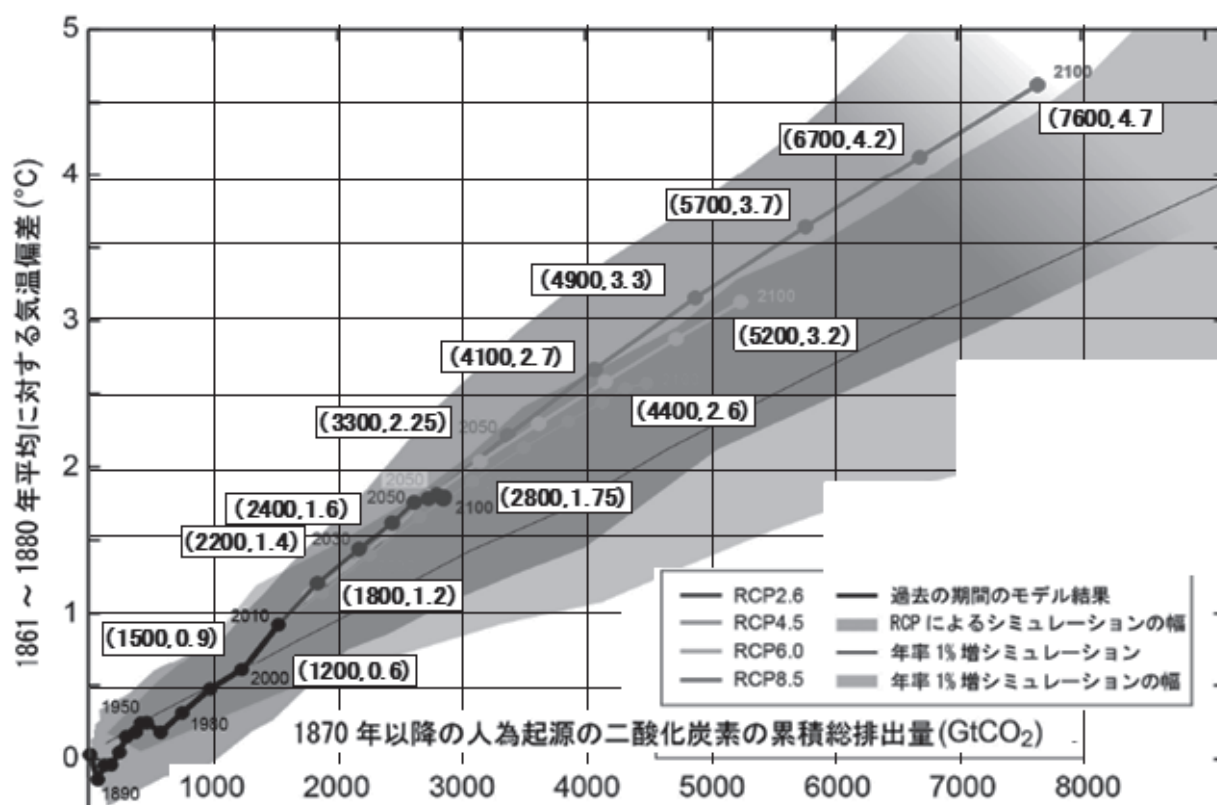
図6 一人当たりGDPと出生乗数のテーブル関数



5. 温暖化のシナリオ IPCC の RPCs (代表的濃度パス) と SSPs

図7は、RCP (代表的濃度パス) の代表的な図である。気候モデルグループへ GHG・大気汚染物質の排出量、土地利用変化を渡すためのシナリオとして用いられた 21 世紀中の気温偏差 (1861 年から 1880 年平均に対する偏差) で、2.6、4.5、6.0、8.5 とするようなシナリオを選出し、各国で分担したモデル名：IMAGE(オランダ；PBL) 2.6、GCAM(アメリカ；PNNL)、AIM (日本；NIES)、MESSAGE(オーストリア；IIASA) で予測を行っている。

図7 1980年代以降の人為起源の二酸化炭素の累積総排出量



資料：IPCC の RPCs に可筆して池田誠作成

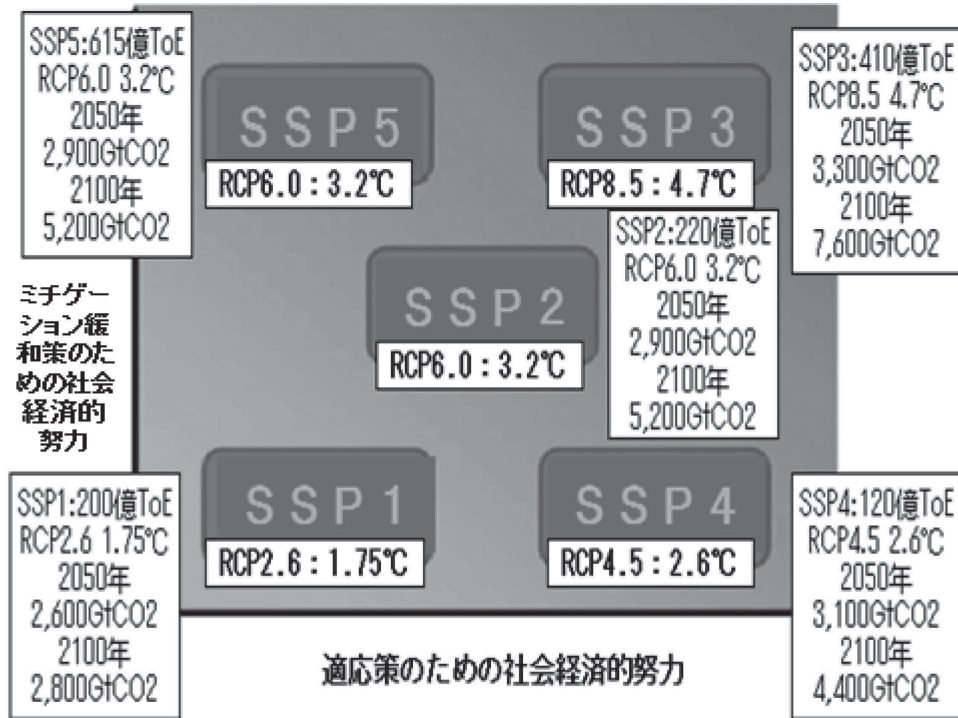
地球環境モデル作成のために、SSPs と RCPs の関連付けはないという IPCC の公式見解を保留して、次のように対応していると仮定した。

- ① SSP3 は、温暖化ガスの排出量を減らす必要性も温暖化した環境への適応も最大であるので、最も温暖化の程度の大きい RCP8.5 のシナリオに該当すると判断した。
- ② SSP1 は、温暖化ガスの排出量を減らす必要性も温暖化した環境への適応も最少であるので、最も温暖化の程度の小さい RCP2.6 のシナリオに該当すると判断した。
- ③ SSP5 は、温暖化ガスの排出量を減らす必要性は大きい、環境への適応は SSP3 よりも少ないので RCP6.0 に該当すると判断した。
- ④ SSP4 は、温暖化ガスの排出量を減らす必要性は SSP2 よりも少ないという位置づけであるので RCP4.5 のシナリオに該当すると判断した。

⑤ SSP2 は、以上の4つの設定から RCP6.0 と判断した。

以上をまとめると、図8に示すように次のとおりである。

図8 SSPsとRCPの関連付け

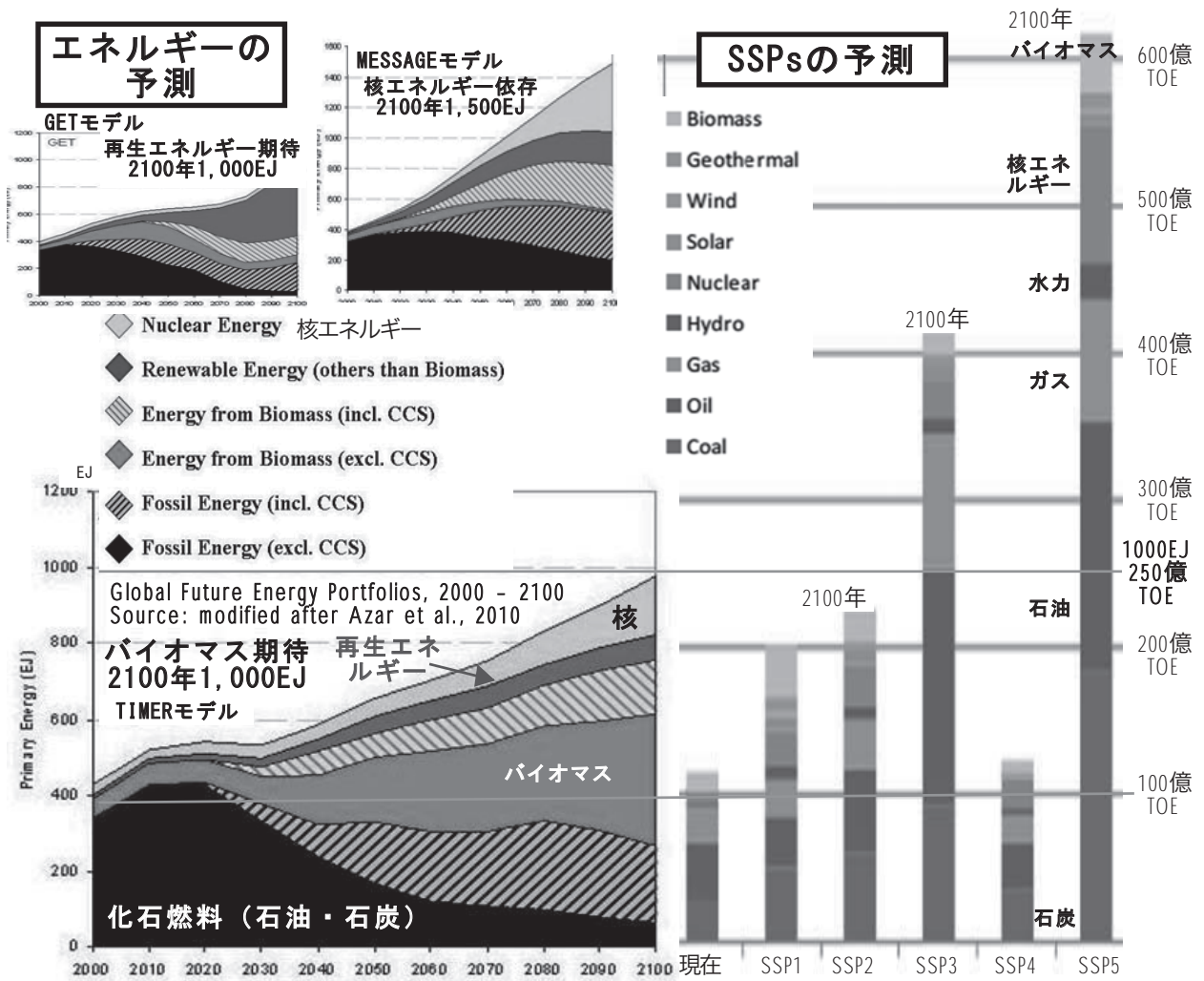


資料：国立環境研究所、「SSPの状況とAIMの関連活動」の図を背景画像として池田誠作成

6.2100年の一次エネルギーミックスの3つの予測と SSPs の関連付け

一次エネルギーについて、SSPsの2100年の予測を図9の右側に示してみた。IIASAなど各国の研究機関が作成した、エネルギー・サブモデルの3通り（内2つは1,000EJ = 250億TOE、もう一つは1,500EJ = 375億TOE）と比較するとSSP3は410億TOE、SSP5は615億TOEとなっているので、エネルギーの供給予測を大きく超えている。SSPsのこのような前提条件の矛盾は、温暖化の最悪な上限を探る成長型のモデルであることを前提として認めないと単なる計算のための計算のようなモデルになってしまうことを念頭に置く必要がある。

図9 一次エネルギーミックスの3つの予測とSSPsの対比



* 1 EJ は、エネルギーの単位で 10 の 18 乗ジュール、1 TOE は石油 1 トン分のエネルギーに相当

* 2 我が国の年間一次エネルギー消費量約 2.3 EJ / 年 = 5 億 8 千万 TOE / 年

我が国の年間総発電量約 8,000 Kwh / 年、石油使用量 1 億 8 千万 TOE / 年

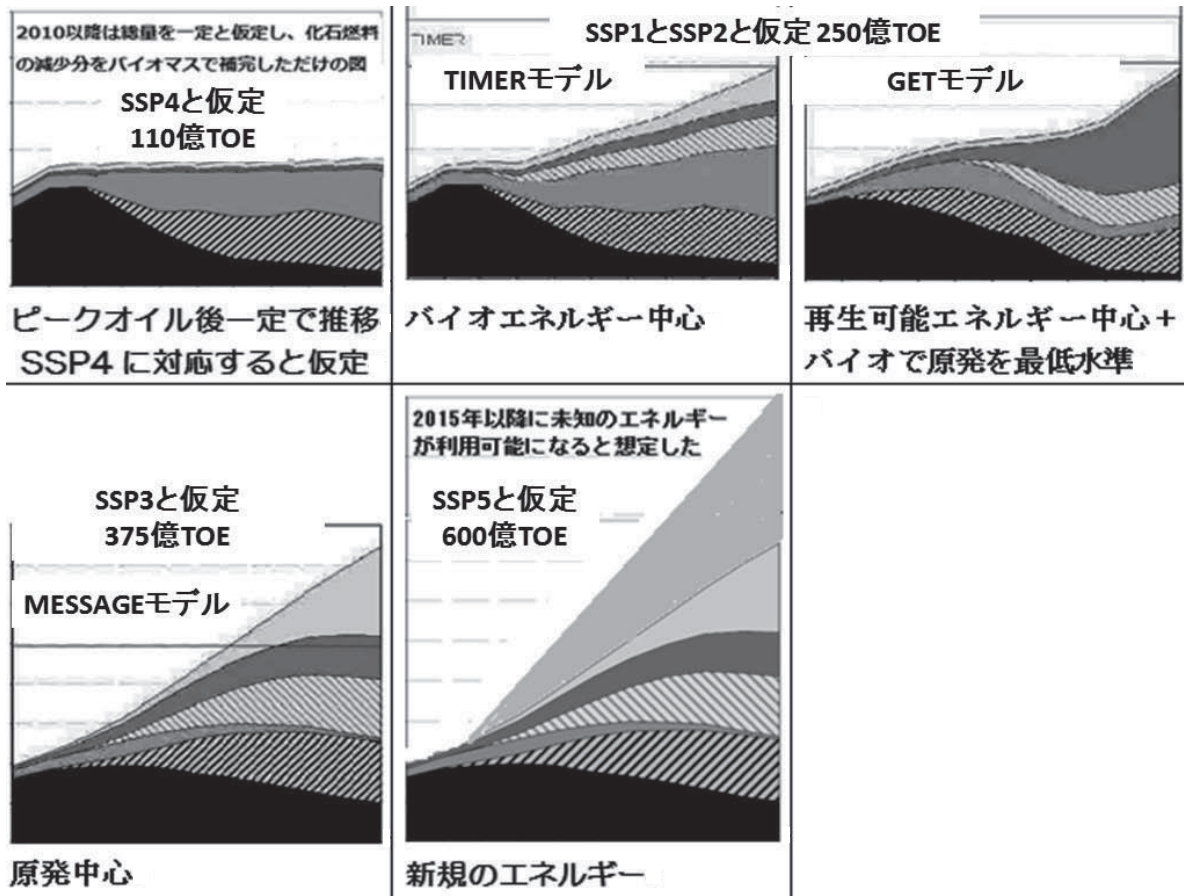
* 3 人類の現在のエネルギー消費量約 4.2 EJ / 年、10.5 億 TOE / 年

* 4 出典：浅見直人、(財)エネルギー総合工学研究所、(独)日本学術振興会、第 148 委員会、12.17.2004

資料：「温暖化対策技術における再生可能エネルギーの技術動向、技術課題、施策」、Future Land Cover Change and Forests - Global Challenges - Bioenergy versus Deforestation The 3rd Global Forest Carbon Working Group Meeting "Future of Global Forests" 27-29 May 2013 IIASA, Austria、国立環境研究所、「SSP の状況と AIM の関連活動」などの資料をもとに池田誠作成。

このような3つの一次エネルギーの予測モデル (GET、MESSAGE、TIMER) のパターンだけではなく SSPs のシナリオで想定されているエネルギーの需給量を筆者の地球環境モデルに導入するために図 10 のような5つのパターンを検討対象とする。ピークオイルなどの資源枯渇が明らかになりつつある中で SSP5 のエネルギー供給を想定すること自体に矛盾もあるが、前述のとおり、温暖化の予測のためという目的を明確にして5つのパターンを用いることとする。

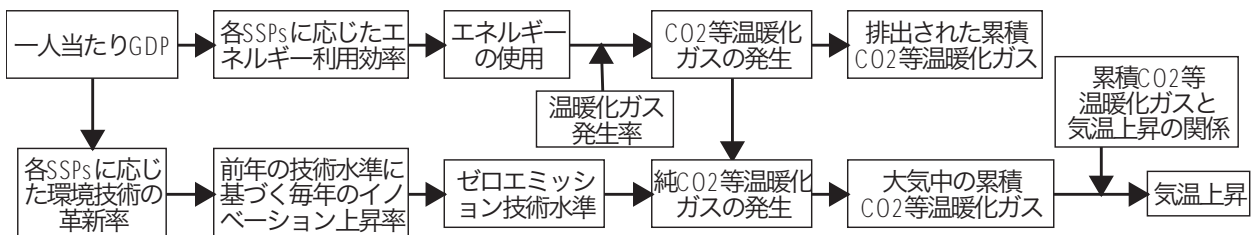
図10 地球環境モデルに用いる一次エネルギーの5つのパターン



資料：図9の資料等を参考に池田誠作成

図10の一次エネルギーを供給可能量として筆者の地球環境モデルに導入することとした。地球環境モデルでは、図11のように、SSPsの想定に基づいた一人当たりのGDPに応じてエネルギーの効率的な利用技術が導入されるものと想定してエネルギー使用量を計算した。現在と同じような技術レベルの温暖化ガスの発生量を推計するためにSSP3を基準として用いた。また、一人当たりGDPに応じた環境技術の革新率（年率）を推計し、それを基にゼロエミッションの技術水準をストック変数として計算し、大気中の温暖化ガスの毎年の排出量を予測した。累積温暖化ガスと気温上昇との関係は、図7から推定しモデル化した。

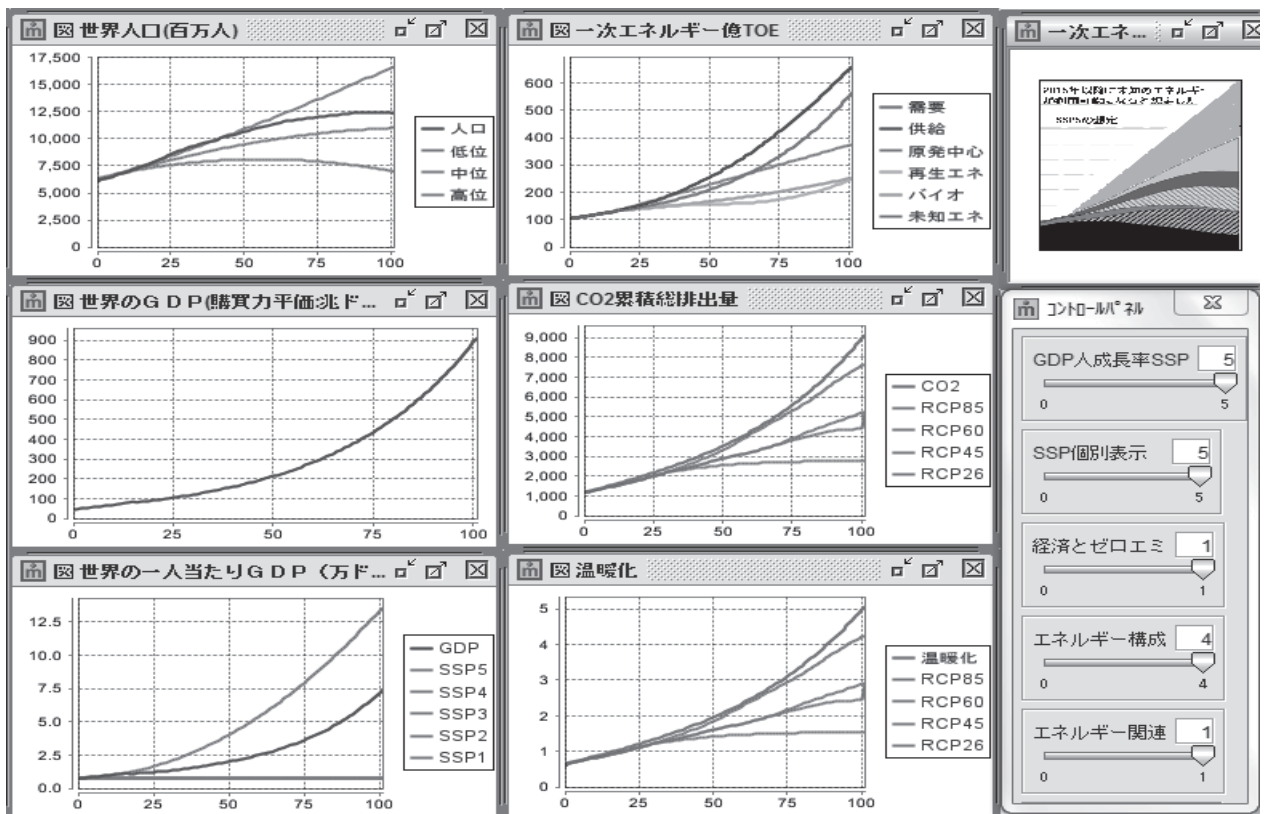
図11 地球環境モデルにおけるエネルギーと温暖化の関連



資料：池田誠作成

以上のような経済とエネルギーと温暖化の関連付けを行って作成した地球環境モデルのシミュレーション結果は、図12に示すとおりである。図12の左側は上から人口、GDP、一人当たりGDPで、中央は上から一次エネルギーの需要と供給、CO₂等の温暖化ガスGHGの累積総排出量、温暖化による気温上昇分、右側が一次エネルギーの利用可能な想定図とコントロールパネルである。薄い灰色の線は、人口では国連推計の高位・中位・低位など各モデルの参考となる指標である。

図12 地球環境モデルのシミュレーション結果（例：SSP5）



資料：池田誠作成

以上の地球環境モデルでシミュレーションを行った結果は、図13-1のCO₂累積排出量と、図13-2の温暖化による上昇気温を2050年と2100年の結果としてSSPsごとに示している。

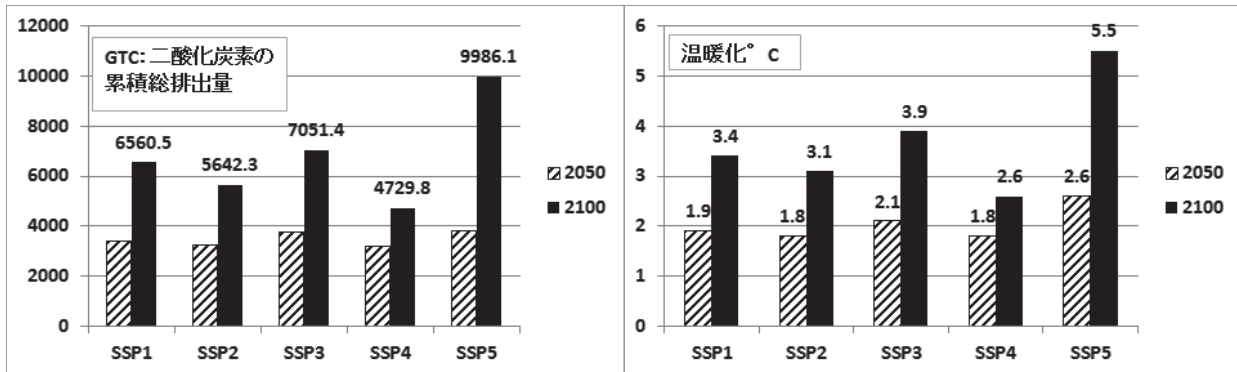
SSPsシナリオの人口・GDP・エネルギーの予測結果を比較すると図14のようになる。人口ではSSPsの予測69～127億人に対して地球環境モデルの予測73～98億人ということで予測の幅は狭まっている。同様に、GDPでは280～1,010兆ドルに対して150～740兆ドルに、一人当たりGDPでは22～138千ドル/人に対して16～101千ドル/人に、一次エネルギーの需要では30～154億TOEに対して22～114億TOEに、いずれも予測の幅が狭まっている。更に、SSP5のシナリオがエネルギーの供給面から実現の可能性が低いことを考慮すると、予測の幅はより狭いものと考えられる。温暖化については、SSPsでは明確になっていないが、IPCCの結果と組み合わせた地球環境モデルでは2.6度から5.5度の幅となっている。SSP5を除くと2.6度から3.9度とかなり狭まってくる。

次に、モデルを更に拡張して温暖化による食糧と人口への影響を調べてみることにする。

図13 地球環境モデルによるSPSSシナリオ別の推計結果

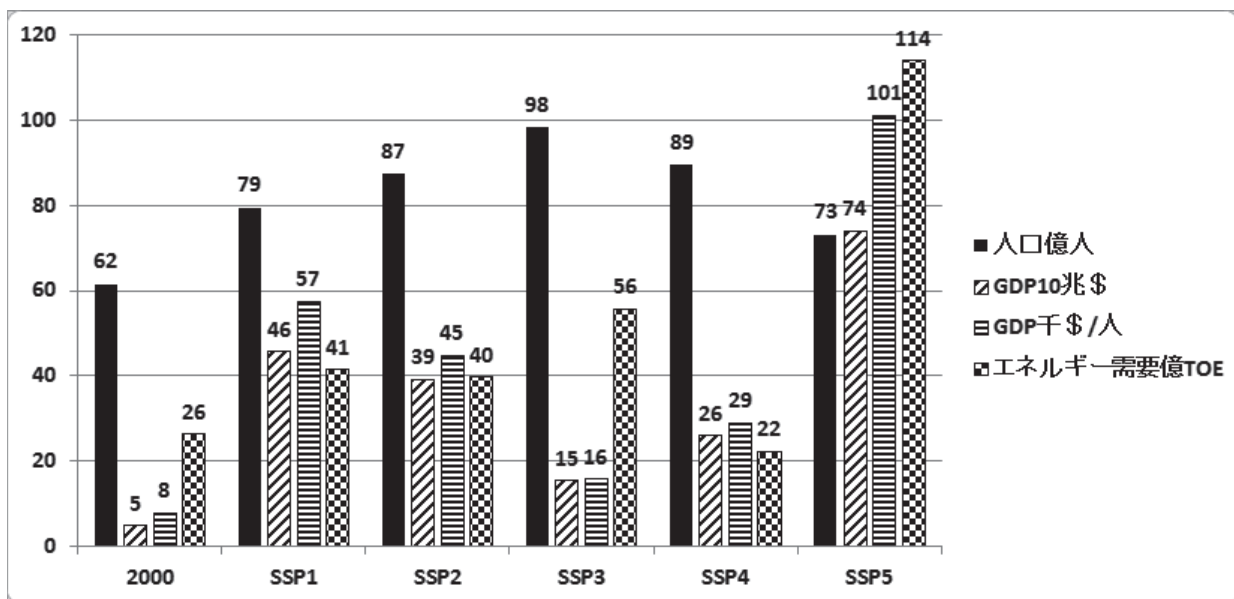
図13-1 CO2累積排出量：GTC

図13-2 温暖化による上昇気温：°C



資料：池田誠作成

図14 OECDのSSP s シナリオの人口・GDP・エネルギーの予測結果比較



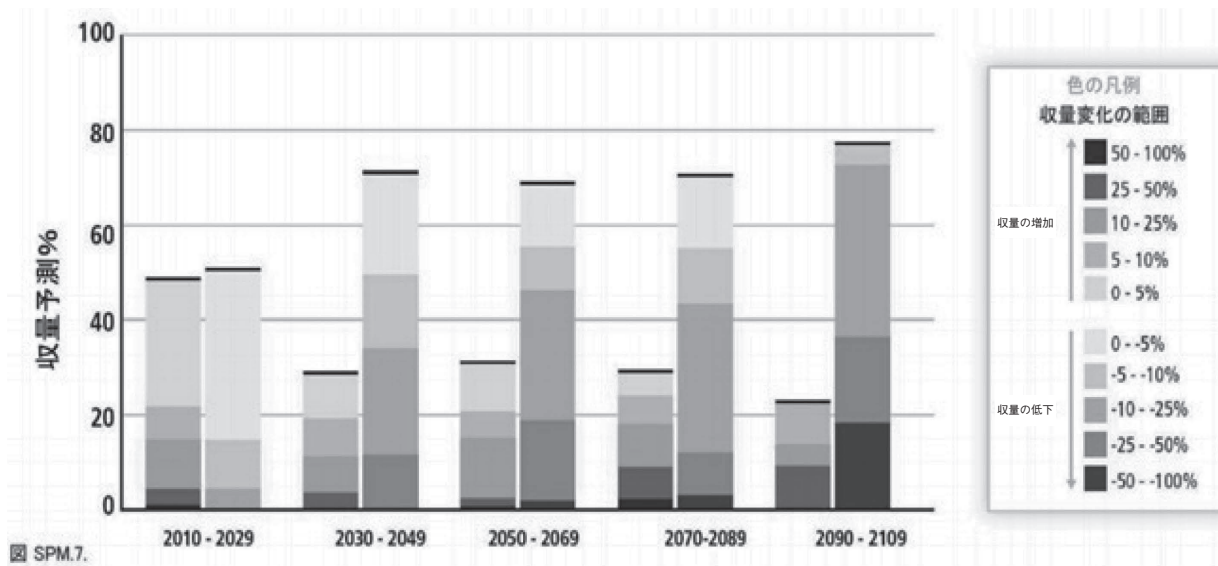
資料：「地球環境モデル」のシミュレーション結果から池田誠作成

7. 温暖化と食料の関係

IPCC 報告書では、気候変動による作物収量の変化予測として、「異なる排出シナリオ、熱帯及び温帯地域、並びに適応及び非適応ケースの組み合わせについての予測」で、「世界平均気温が4℃またはそれ以上上昇するシナリオについて作物システムへの影響が検討された研究は相対的に少ない」が、研究データ (n=1090) をもとに20年間ごとに「20世紀後半の作物収量の水準」を基準として、図15のようにまとめている。なお、各時間枠のデータは合計して100%となる。

これらの予測をもとに、指標化を行い図16、表1のように、モデルに導入するデータとした。

図15 SPM.7: 21世紀の気候変動による作物収量の変化予測の要約

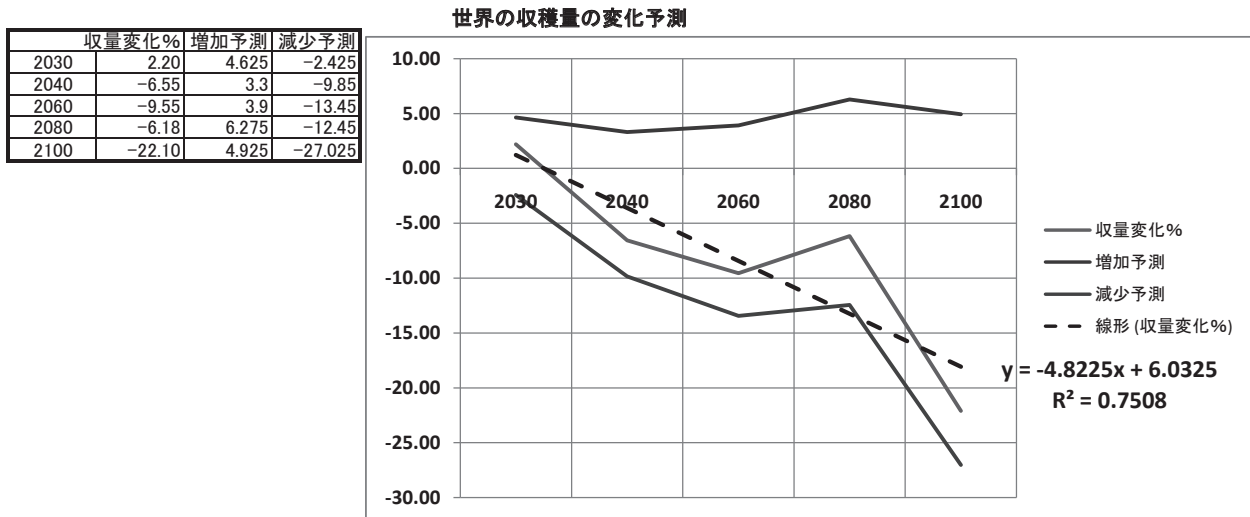


注：各棒グラフの左側は増収、右側は減収の予測を示している。

資料：『IPCC 第1作業部会第5次評価報告書』（2014年3月）から引用

(以下は、池田の作業仮説の図16と表1)

図16 上記のIPCCの報告書から「食料と温暖化の関係」を指標化して求めた図



注：予測割合を目算で%値とし、平均収量を掛けて増加予測値と減少予測値、合計予測値を推計した。
資料：IPCC「第1作業部会第5次評価報告書」（2014年3月）の図SPM.7から池田誠作成。

表1 前記のIPCCの報告書から「食料と温暖化の関係」を確率分布的に求めた図

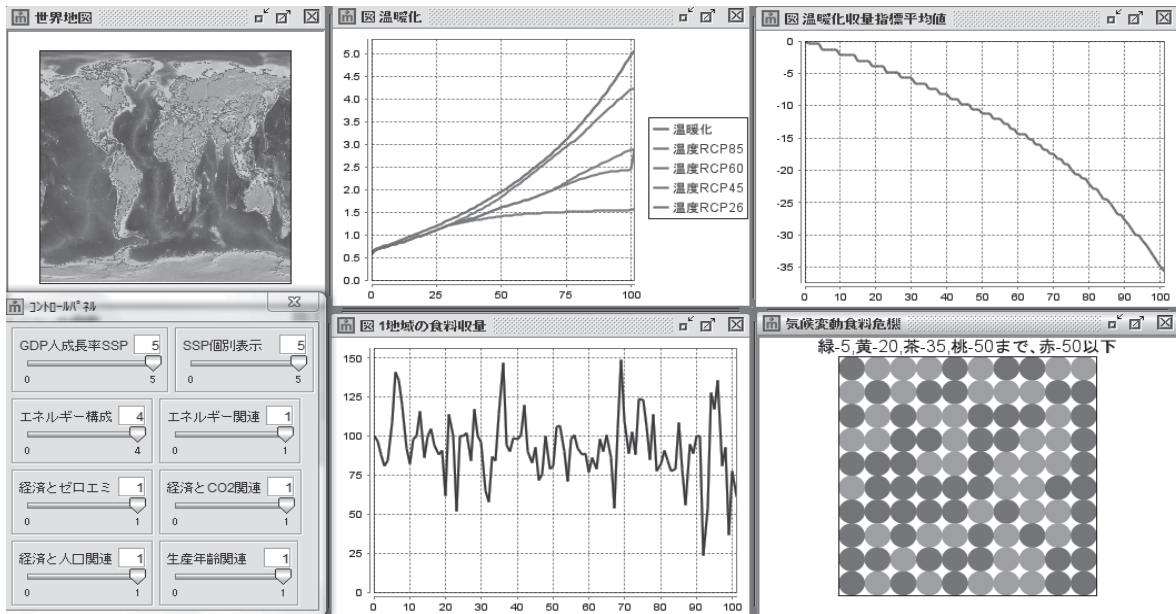
収量変化%	平均	収獲量変化予測の予測割合(%)					収量変化×予測割合(%)				
		2030	2040	2060	2080	2100	2030	2040	2060	2080	2100
0~5%	2.5	27	10	10	5	0	0.68	0.25	0.25	0.13	0.00
5~10%	7.5	7	7	6	6	9	0.53	0.53	0.45	0.45	0.68
10~25%	17.5	11	8	14	9	5	1.93	1.40	2.45	1.58	0.88
25~50%	37.5	4	3	2	7	9	1.50	1.13	0.75	2.63	3.38
50~100%	75				2		0.00	0.00	0.00	1.50	0.00
小計							4.63	3.30	3.90	6.28	4.93
0~-5%	-2.5	36	23	12	16	0	-0.90	-0.58	-0.30	-0.40	0.00
-5~-10%	-7.5	11	15	10	11	4	-0.83	-1.13	-0.75	-0.83	-0.30
-10~-25%	-17.5	4	23	28	32	37	-0.70	-4.03	-4.90	-5.60	-6.48
-25~-50%	-37.5		11	16	9	18	0.00	-4.13	-6.00	-3.38	-6.75
-50~-100%	-75			2	3	18	0.00	0.00	-1.50	-2.25	-13.50
小計							-2.43	-9.85	-13.45	-12.45	-27.03
合計							2.20	-6.55	-9.55	-6.18	-22.10

注: 予測割合を目算で%値とし、平均収量を掛けて増加予測値と減少予測値、合計予測値を推計した。
資料: IPCC「第1作業部会第5次評価報告書」(2014年3月)の図SPM.7から池田誠作成。

以上の食料指標や、収量の予想確率を用いて地球環境モデルに導入した。モデルでは、世界を100の食料生産単位の地域からなると想定し、収量の予想確率をそれぞれの地域の収量として予測した。100地域の食料生産単位とは、2000年時点であれば1地域から60億人分/100地域=6,000万人の食料生産単位であるという想定である。単純に食料の消費を人口比とすると、日本は2地域分の食料を消費していることとなり、中国は21地域分(世界の5分の1強)となる。GDPの違いや食生活の違い、カロリーベース、金額ベースなどの食料の測定方法によって色々な解釈が可能である。

温暖化が最高となるSSP5では、2100年の気温は5度上昇し、食料収獲量を指標で評価すると-35%となる。100地域に置き換えたモデル(MAS)の中の1地域をみると温暖化が進む前から-50%もあり、21世紀後半には-75%や-100%もありうるという結果が得られる。

図17 温暖化の食料への影響モデル(SSP5)



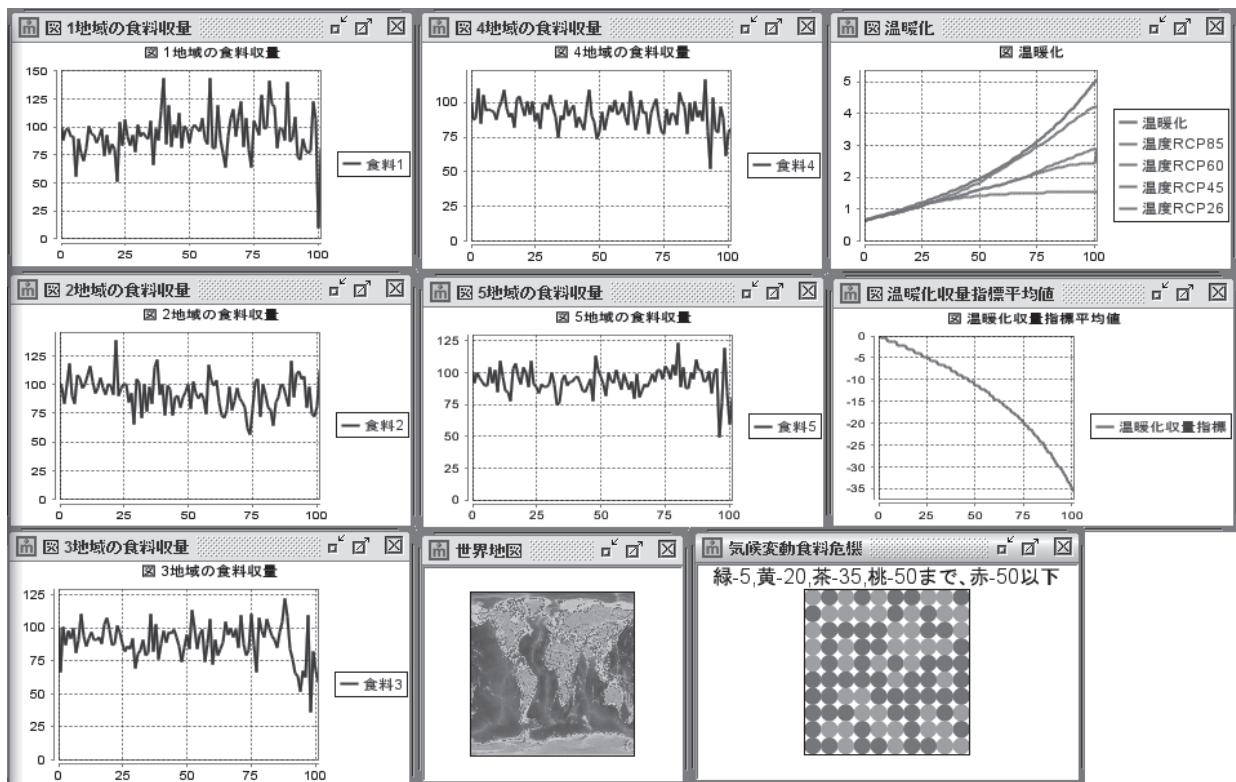
資料: 池田誠作成

以上の結果から、日本での食料の将来を考えると、2つ分の地域でどのくらいの安定的な食料が得られるかを検討する必要がある。温暖化によって発生するスーパーハリケーン級の台風や、偏西風の異常な蛇行による長期で広範囲な寒冷化や温暖化など、日本が必要とする食料の半分くらいの食料が大規模な被害を受けることを想定するというイメージである。さらに、3つ分、4つ分、5つ分の地域についても食料収穫量への影響を検討することとした。

また、最悪の事態を想定するという SSPs や温暖化の研究であるが、ここでは最も低い温暖化による影響の予測でも、深刻な食料収穫量の低下が発生するというを確認するために SSP4 の予測結果を紹介する。なお、確率分布を用いるモデルでは MAS に限らず複数回の試行結果をもとに予測結果を提示することが必要であるが、連続実行を行った結果は表示が分かりにくいので、本稿では1回だけの偶然的な結果を紹介することとする。

地域単位の食料収量は、1地域では100%近い減少が1回発生している。日本を2地域とみても、合計で50%近い減少が数回発生している。しかも、興味深いことは、全く発生しないケースもあれば、集中的に発生しているケースもある。なお、図の地域単位の食料収量の縦軸は左上の図1地域で0～150%、他は0～125%となっている。地域数が増えると異常気象などの激減の影響を緩和することができるので、変化の幅は小さくなる。なるべく多くの地域で協力することが重要と言える。

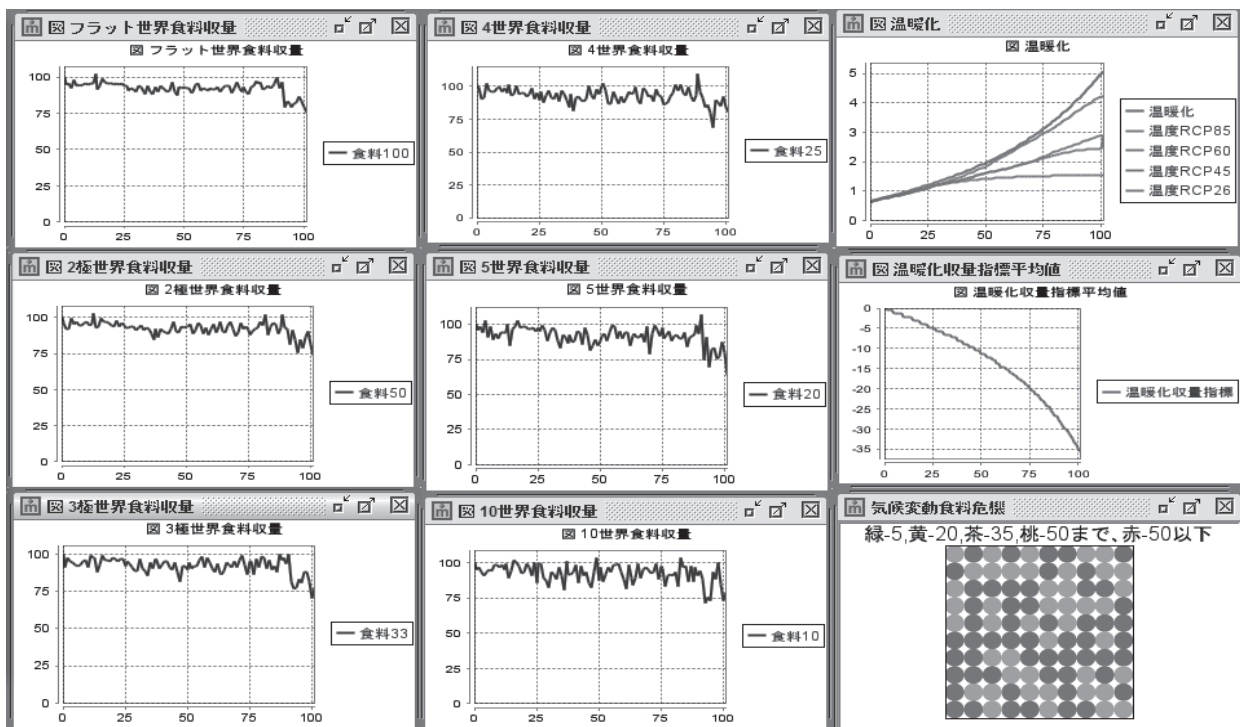
図18 1地域～5地域で構成される地域（国）の食料収量比較



資料：池田誠作成

さらに、世界レベルでの影響を検討するために世界が食料を完全に自由に融通し合うフラットな世界を想定すると100地域の合計で温暖化の影響を調べてみる必要がある。図19の左上のようにその影響は2000年代後半でも75%以下とかなり低く抑えることができる。この予測は温暖化の最低レベルなので、これで安心することは出来ないが、一つの目安として世界的な市場や政府などの存在が食料への気候変動という面からは望ましいことが分かる。もちろん、世界がフラットに一つになるという仮定は、希望的な見方にすぎないので、現実的な観点から2極化して50地域対50地域のブロック化や、3極化して33地域ずつ、あるいは4極化して25地域ずつ、5極化して20地域ずつ、10極化して10地域ずつというパターンで予測した結果を表示している。中国やインドが20食料単位地域以上なので、5極以上の分散ブロック化した世界システムは現実味が薄いですが、日本が小さな国際的な経済圏を構想すると仮定した場合と考えてあえて予測内に含めた。結果的には大きなブロックに入っていることが食料の変動を小さくすることが明らかに必要であることが分かる。気候変動の最悪シナリオであるSSP5では、更に地域ごとの食料が変化するので、この国際関係的な意味合いは重要な予測結果であるといえよう。

図19 世界的な視点で世界市場と2極から10極までの分散ブロック食料圏の比較



資料：池田誠作成

8. 結論

以上のように SSPs と RCPs を結びつけた統合的な地球環境モデルという試みは、所得分配の公平性を SSP1 のシナリオのように導入する必要性や、食料が減少する世界で人口がどれだけ扶養で

きるのかといった問題など、まだ多くの課題が残されているものの、一応の統合モデルとして、個人レベルで簡単に条件を変更してシミュレーションしてみることが可能なモデルといえよう。ホームページ上でも公開して、地球環境だけでなく様々な課題に関心のある方々から利用して頂けるように準備している。本稿の作成に当たっては多くの方のご示唆やご助言を賜った。特に、星野克美先生、光辻克馬先生、松尾浩子女史には部分モデルが出来るたびに貴重な意見を頂いた。皆さま方に感謝の意を表して結びとする。

[参考文献]

- ・ Ecosystems Services and Management Program (ESM) @ International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria. The 3rd Global Forest Carbon Working Group Meeting, "Future of Global Forests" 27-29 May 2013 IIASA, Austria
- ・ 国立環境研究所、2011年11月15日、シナリオ・影響評価国内ワークショップ（第二回）「SSPの状況とAIMの関連活動」のパワーポイント、藤森真一郎、増井利彦、高橋潔、肱岡靖明、甲斐沼美紀子、花崎直太発表、http://www.iam.nies.go.jp/aim/sspdist/slides_ssp_fujimori_111115.pdf（2014年9月14日参照）
- ・ Integrated modelling of global environmental change. An overview of IMAGE 2.4 © Netherlands Environmental Assessment Agency (MNP), Bilthoven, October 2006 Edited by A.F. Bouwman, T. Kram and K. Klein Goldewijkp.41 System dynamics of the Energy Demand sub-model
- ・ 『日本の生産性の動向 2013年版』日本生産性本部 http://www.jpc-net.jp/annual_trend/annual_trend2013_press.pdf
- ・ World Population Prospects: The 2012 Revision File POP/1-1: Total population (both sexes combined) by major area, region and country. June 2013 - Copyright © 2013 by United Nations. All rights reserved United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2013).
- ・ 浅見直人、(財)エネルギー総合工学研究所、(独)日本学術振興会、第148委員会、12.17.2004
- ・ 「温暖化対策技術における再生可能エネルギーの技術動向、技術課題、施策」2005年8月02日、温暖化対策技術調査検討ワーキンググループ、(株)荏原製作所天下孝裕作成
<http://www8.cao.go.jp/cstp/project/envpt/ghgm-wg/wg3/3-1-9.pdf> 2014年9月19日参照
- ・ Future Land Cover Change and Forests - Global Challenges -Bioenergy versus Deforestation The 3rd Global Forest Carbon Working Group Meeting "Future of Global Forests" 27-29 May 2013 IIASA, Austria

注：本稿の図については、筆者のホームページでカラー版を掲載しているので参照ください。

<http://www2.toyo.ac.jp/~mikeda/>

参考：池田の地球環境モデルの作成フロー

