

# コンピュータ・シミュレーションで探る人類の未来：温暖化と食糧問題

2017年3月17日 東洋大学 池田誠

## 1. はじめに

地球温暖化で2100年までの食料がどう変化するのか、日本や世界はどう対応すれば良いのか？

2014年にIPCC（気候変動に関する政府間パネル）から出された『第5次評価報告書』には、その答えは書かれていない。そこで、その報告書の資料をもとに、この問題を探ってみることとした。

なお、本稿は、『国際地域学研究第18号』（2015年3月）に掲載された拙著「気候変動と地球環境モデル」からの引用とその後の成果をもとに作成した。

## 2. モデルの前提

本モデルの前提とした資料は次の二つである。

第1は、IPCC報告書で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」である。同報告書で「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」としており、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」を基準としたものとして、図1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。従って、この図は収量変化の予測割合を示す図ではないが、本モデルではこれを予測割合と仮定して推計作業を行った。その結果は後述する。

図1 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

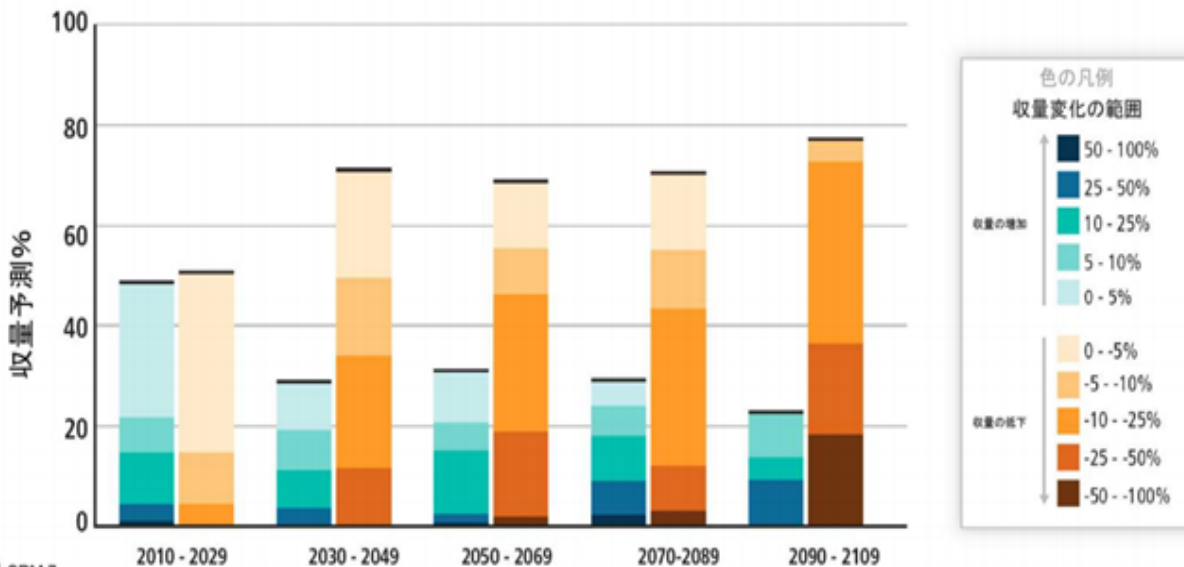
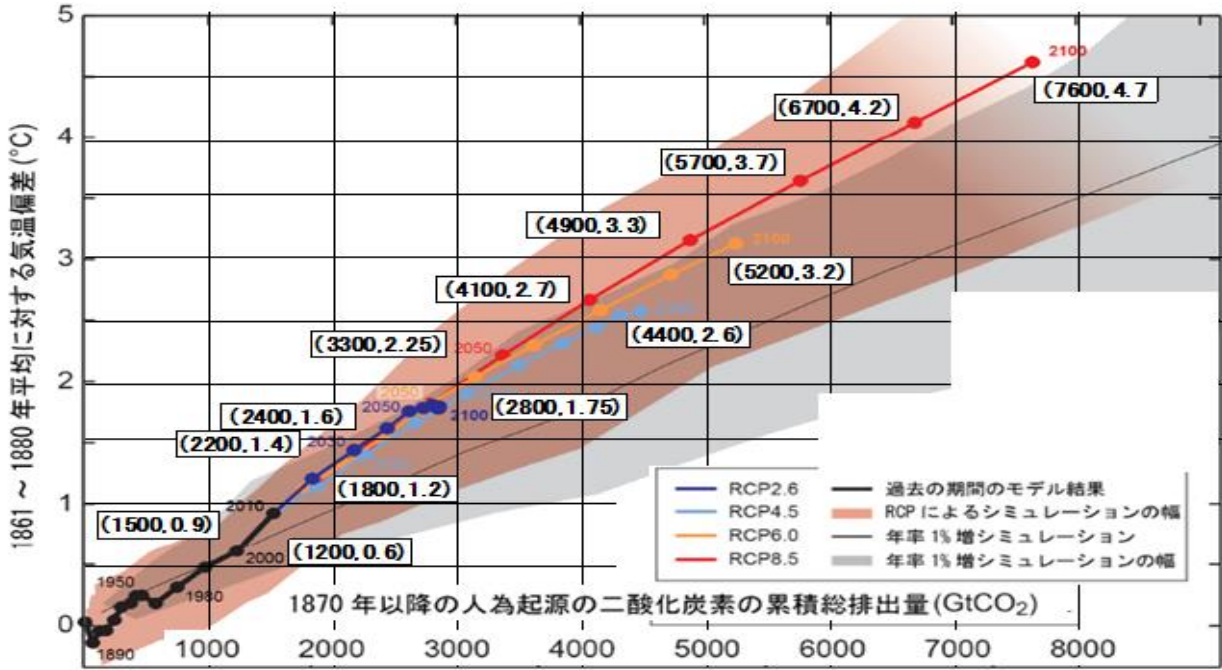


図 SPM.7.

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

第2の資料は、同じくIPCCの温暖化の経路を示すRCP（代表的濃度パス）の代表的な図2である。気候モデル・グループで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、RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5のシナリオを各国で分担した。それぞれのモデルは、IMAGE（オランダ；PBL）、GCAM（アメリカ；PNL）、AIM（日本；NIES）、MESSAGE（オーストリア；IIASA）で予測を行っている。

図2 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 第1作業部会第5次評価報告書』（2014年）の図に池田加筆

### 3. 温暖化と食糧収量の関係づけ

以上の二つの資料から、温暖化による気温の変化と食料の収量の関係を指標化してモデルを作成した。

まず、棒グラフの収量変化の幅から平均値（表1の左から2列目）と年別の予測割合を数値化（表1中央の2030～2100の5列の数値）した。さらに、これら2つの数値から年別の収量変化（表1右の2030～2100の5列の数値）を計算した。

これらの数値をもとに、図2から「温暖化が4℃以上」になるRCP8.5の年次ごとの気温（表1の右下の数値）と対応させて「温暖化と食糧収量の指標化」を行いモデルに導入することとした。

表1 上記のIPCCの2つの図から作成した「食料と温暖化の関係」

収量変化%	平均	収穫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	27.0	10.0	10.0	5.0	0.0	0.68	0.25	0.25	0.13	0.00	
5～10%	7.5	7.0	7.0	6.0	6.0	9.0	0.53	0.53	0.45	0.45	0.68	
10～25%	17.5	11.0	8.0	14.0	9.0	5.0	1.93	1.40	2.45	1.58	0.88	
25～50%	37.5	4.0	3.0	2.0	7.0	9.0	1.50	1.13	0.75	2.63	3.38	
50～100%	75	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	
小計		49.0	28.0	32.0	29.0	23.0	4.63	3.30	3.90	6.28	4.93	
0～-5%	-2.5	36.0	23.0	12.0	16.0	0.0	-0.90	-0.58	-0.30	-0.40	0.00	
-5～-10%	-7.5	11.0	15.0	10.0	11.0	4.0	-0.83	-1.13	-0.75	-0.83	-0.30	
-10～-25%	-17.5	4.0	23.0	28.0	32.0	37.0	-0.70	-4.03	-4.90	-5.60	-6.48	
-25～-50%	-37.5	0.0	11.0	16.0	9.0	18.0	0.00	-4.13	-6.00	-3.38	-6.75	
-50～-100%	-75	0.0	0.0	2.0	3.0	18.0	0.00	0.00	-1.50	-2.25	-13.50	
小計		51.0	72.0	68.0	71.0	77.0	-2.43	-9.85	-13.45	-12.45	-27.03	
合計		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	2.20	-6.55	-9.55	-6.18	-22.10	
							RCP8.5の温度	1.4	1.8	2.7	3.7	6.0

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）から引用した本稿の図1と図2から池田誠作成。

#### 4. モデル1 (1地域のモデル)

筆者が作成している地球環境モデル(国連やOECDの予測値を利用して人口・経済・エネルギー・気温等の2000年から2100年のモデル)に以上の収量変化の予想割合を用いて導入した。その結果は図3のような収量変化図となる。

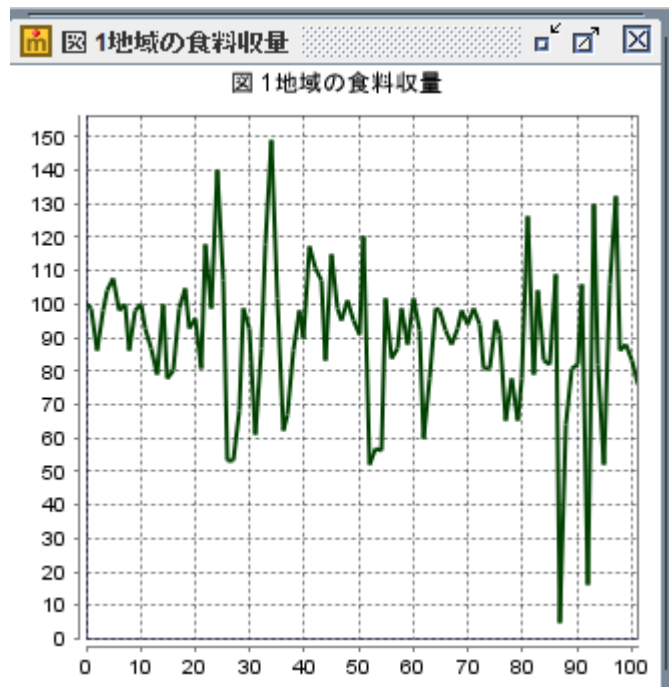
2030年前後は図1のグラフの通り、収量が増加することもありうるので、変化の幅が上下に大きくなっている。逆に、2070年前後は図1のグラフの通り、極端な変化を予測する研究レポートが少なかったことから収量が安定しているように見える。

2090年前後は食料の収量が5%や15%というように極端に低くなる年も出てくることが分かる。

図1の予測は、世界の様々な地域の様々な作物について行われている研究の集計である。

従って図3のような変化が地球規模で起きると考えるのは疑問である。そのため地球上の様々な緯度や標高の地域で、4℃を超えるような温暖化による長期にわたる高温・低温や天候不順、大規模な風水害などの異常気象を想定したものと考えて、地域別のモデルを検討することが必要であるといえよう。

図3 1地域の食料収量(2100年の温暖化6度)



#### 5. モデル2 (地域別モデル R32)

地域別に検討するための情報が必要となるが、IPCCのSummary for Policymakers\_ar5\_syr\_spmの報告書では、図4や図5のような情報しか得られない。

図4 赤のトラクターのマークが食料(減少はアジア、ヨーロッパ、アフリカ)

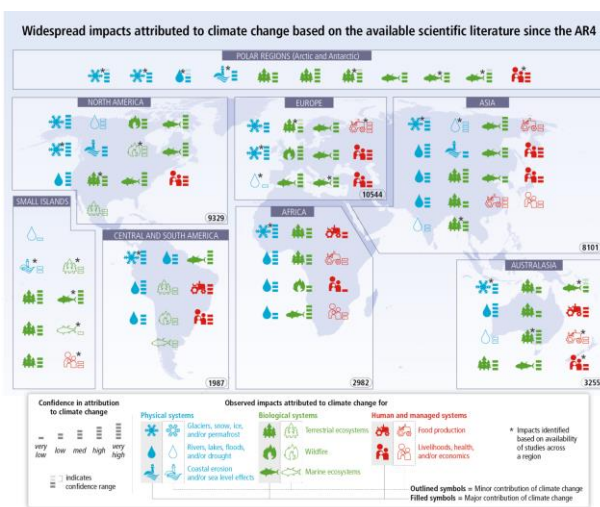


Figure SPM.4 [FIGURE SUBJECT TO FINAL COPYEDIT AND QUALITY CONTROL]  
Summary for Policymakers\_ar5\_syr\_spm.pdf p.31

図5 赤のトラクターのマークが食料(減少はアジア、アフリカ、南米)

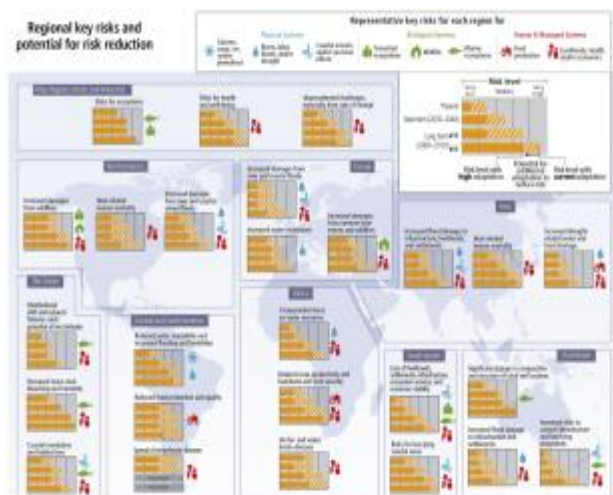
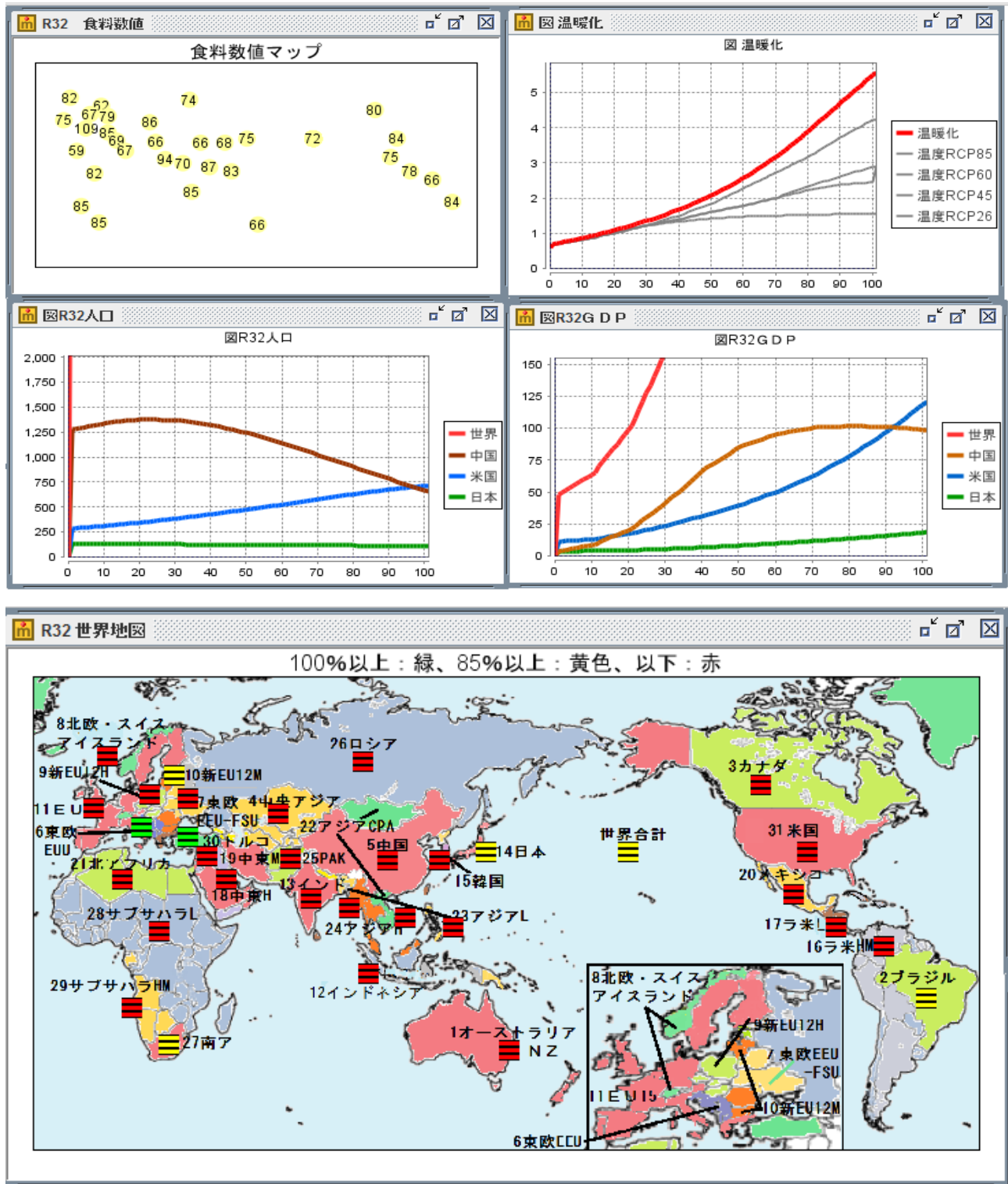


Figure SPM.8 [FIGURE SUBJECT TO FINAL COPYEDIT AND QUALITY CONTROL]  
Summary for Policymakers\_ar5\_syr\_spm.pdf p.35

そのため、表1と図3で得られた情報を、1つの地域で緯度や標高の差を考慮したものとするために1つの地域で3つの予測値が平均化されると仮定することとした。さらに、各地域の食料供給が飢餓や餓死に影響を及ぼすには単年度の収量ではなく3年間の移動平均の収量にして影響を検討することとした。そこで、31地域(OECDのR32の区分)をエージェント化したモデルを作成した。図5のように、収量の数値、温暖化の水準、R32の内の日米中3か国の人口と経済を表示、マップでは収量が100%以上を緑色、85%~100%を黄色、85%以下を赤の横縞で表して、ステップごとの変化を見やすくした。図5 R32モデル (左上: 収量、右上: 温暖化、中段左日米中の人口、中段右: 同 GDP、下: マップ)



資料: OECDのR32地域を利用してSSP5に相当する人口・経済の温暖化6度を想定して池田誠作成

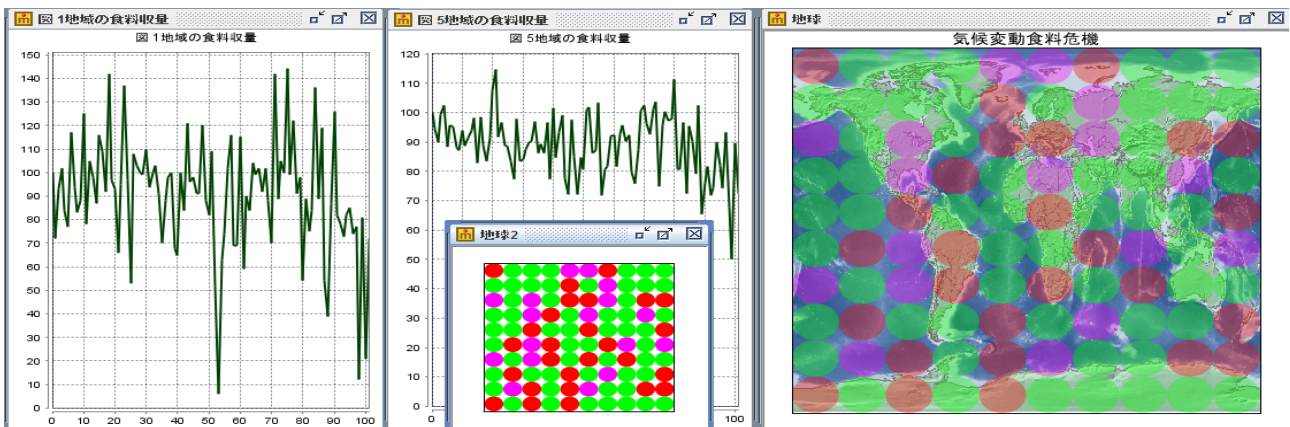
## 6. モデルの拡張

現段階では図6のように、世界を地域とは無関係に100の食料生産単位のエージェントから構成されるものと仮定して、1つの地域が2000年時点では6,000万人分、人口が100億人になる時点では1つの単位が1億人分の食料生産に相当するという極めて単純化したモデルを作成した。例えば、日本であれば従来の地方レベルの規模を超える収量変化、イメージとしては日本の半分から全体が被害にあうような大規模災害を考慮した食料収量の予測であると仮定することとした。

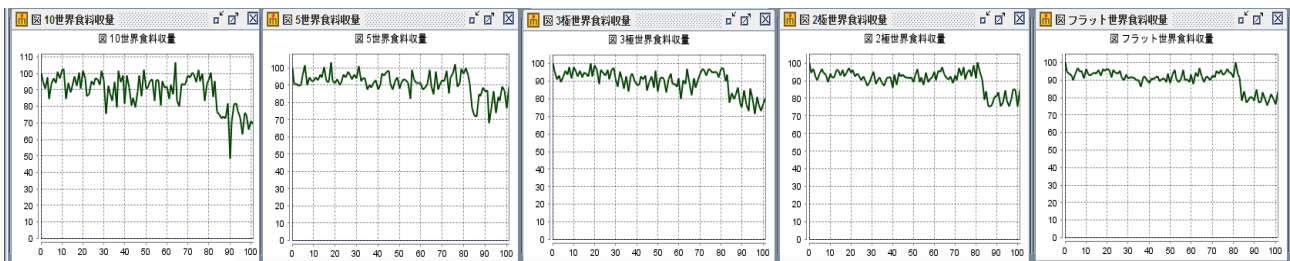
その結果、世界全体の100地域が相互協力する世界政府のようなフラットな世界が実現すれば図6のように食料生産の変動幅は安定化できるが、そのような未来だけでなく2極や3極に分裂した世界でも食料の変動はかなり少なくできることが分かった。

図6 2100年に温暖化6度のケースの100地域モデル

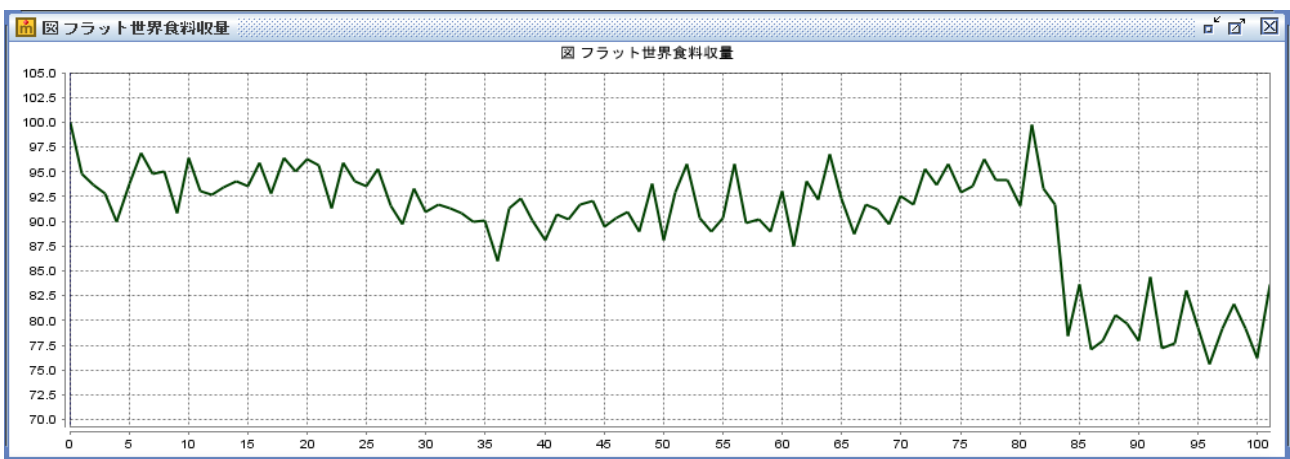
(左側：1地域の食料収量、中央：5地域の食料収量、中央下と右：収量変化マップ)



(左側から：10地域、世界を5区分20地域、3極(33地域)、2極(50地域)、1極(100地域全て)が食料を共有化した場合をそれぞれ示している。)



(1極のフラット化した世界の食料収量は、最大でも25%程度の減収である。)



## 7. 結論

以上のシミュレーション結果から、最悪の事態を想定して温暖化が6度まで上昇するケースで日本の食料の将来を考えると、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、なるべく多くの地域で協力することが重要と言える。

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1国でも10食料単位地域以上となるので、実際には5極以上の分散ブロック化した世界システムくらいが考えられる。しかし、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を考慮して10地域のケースも予測した。結果的には大きなブロック（自由貿易圏）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。

なお、図5のモデルをベースに地域間の相互作用（食料貿易や食料援助等）や地域ごとのブロック化（ハンチントン流の文明の区分や先進国側とBRICs等の区分）のシミュレーションを試みることを検討したが、食料貿易ネットワークの想定の仕事や地域ごとの温暖化の影響や食料需給の動向、ブロック化の分け方等の面でモデル化に限界があり、単純化したゲーム論でも利得行列を作成するための食料の情報不足していることなどから今後の課題とした。

## 参考文献

- ・『国際地域学研究第18号』（2015年3月）に掲載された拙著「気候変動と地球環境モデル」
- ・IPCC FIFTH ASSESSMENT REPORT (AR5) “CLIMATE CHANGE 2014”, DRAFT SYNTHESIS REPORT Summary for Policymakers provisionally approved  
Summary for Policymakers\_ar5\_syr\_spm.pdf p.35

MAS コンペ事務局からのご質問 2017年2月13日

世界を対象に、人類の経済活動、エネルギー消費、環境問題など統合した壮大なモデルで非常に興味深いです。ただ、次に挙げる点がアブストラクトでは不明瞭なため、予稿原稿、および、モデルファイルの提出締切までに改善いただきたく存じます。

・なぜ MAS を利用したのか理由を明確にご記載ください。

お答：32地域や100地域をエージェント化するために MAS を利用しました。結果的にはエージェントの相互作用をモデル化できていませんので、本格的な MAS の利用となっております。

・非常に精力的に分析されている一方で、情報が詰め込まれすぎていて、聴講者がついてこれない可能性があります。情報を抽象化して説明する部分と強調する部分とで差異を付けていただければと思います。

お答え：今回は、温暖化と食糧収量だけに限定しました。

・シミュレーションモデルに関して、それぞれのエージェントがどのように影響し合っているのか、関係性や相互作用などをご説明ください。

お答え：エージェント同士の相互作用は含まれておりませんので、MAS としてのレベルは不十分です。

ベースとなっている地球環境モデルでは、温暖化の影響が地域エージェントの人口や経済に影響し、世界全体の GHG の排出量に影響し、温暖化に影響し、再び地域に影響をする形で、「エージェントの外部環境」と「エージェント」が相互に影響しあっているというタイプの MAS モデルです。

・世界の土地の形（地理的な要因）による影響についてお考えでしょうか。

お答え：地理的な要因は、モデル化するために必要な情報が入手できていませんのでモデルには入っておりません。

-----  
以上、どうぞよろしくお願ひ申し上げます。