

中央大学博士論文

気候変動による世界の水資源量変化と
社会的影響に関する研究

大平 一典

博士（工学）

平成25年度

— 目 次 —

第1章 序章

1.1	本研究の背景	1- 1
1.2	本研究の目的	1- 2
1.3	本研究の対象とした主要農作物	1- 3
1.4	本研究で構築した推計モデルの構成	1- 4
1.4.1	将来の水資源賦存量の推計	1- 4
1.4.2	主要農作物生産量推計モデル	1- 4
1.4.3	食用・飼料用・加工用等需要量推計モデル	1- 4
1.4.4	生活用水需要量推計モデル	1- 5
1.4.5	工業用水需要量推計モデル	1- 5
1.4.6	各用水及び農作物の生産量・食料の過不足量の推計	1- 5

第2章 本研究に使用した各種データ等

2.1	データ	2- 1
2.1.1	各種統計データ	2- 1
2.1.2	採用した気候変動の将来予測シナリオ	2- 2
2.1.3	本研究の対象国	2- 3
2.1.4	対象国 166 か国の区分	2- 3
2.1.5	水資源賦存量	2- 5
2.2	説明指標としての「GDP」の代表性の検証検討	2- 6
2.2.1	「GNI(国民総所得)」との検証	2- 6
2.2.2	「GDP (PPP)」との検証	2- 8
2.3	CIESIN の将来予測値 (A1 シナリオ) の概要	2- 9
2.3.1	CIESIN 「GDP」将来予測値の概要	2- 9
2.3.2	CIESIN 一人当たりの「GDP」将来予測値の概要	2-10
2.3.3	CIESIN 「GDP」将来予測値と「GDP」実績値との比較	2-11
2.3.4	CIESIN 「人口」将来予測値の概要	2-13

第3章 農作物の将来生産量と農業用水必要量の推計方法

3.1	推計方法	3- 1
3.1.1	基本的な考え方	3- 1
3.1.2	灌漑用水ストレスと天水ストレス	3- 2
3.1.3	穀物水消費原単位と期待灌漑農地単収	3- 3
(補足)	2000年～2009年のFAO平均単収と期待灌漑農地単収	3- 4

3.1.4	灌漑用水供給量	3- 5
3.1.5	天水量	3- 6
(補足)	中華人民共和国、インド、インドネシアの生産地域区分	3- 7
3.1.6	係数「 γ 」	3- 8
3.1.7	水ストレスによる生産量の減収効果	3- 8
3.1.8	主要農作物の将来生産量の推計方法のまとめ	3- 9
3.2	灌漑面積と非灌漑面積の将来推計	3-10
3.2.1	将来推計方法の基本的な考え方	3-10
3.2.2	米（水田）の作付面積	3-11
3.2.3	米（水田）の灌漑面積と変動量の取り扱い	3-14
3.2.4	米（水田）の灌漑面積・非灌漑面積、作付面積の推計結果	3-15
3.2.5	小麦の作付面積	3-16
3.2.6	小麦の灌漑面積と変動量の取り扱い	3-16
3.2.7	小麦の灌漑面積・非灌漑面積、作付面積の推計結果	3-16
3.2.8	トウモロコシの作付面積	3-17
3.2.9	トウモロコシの灌漑面積と変動量の取り扱い	3-18
3.2.10	トウモロコシの灌漑面積・非灌漑面積、作付面積の推計結果	3-18
3.2.11	大豆の作付面積	3-19
3.2.12	大豆の灌漑面積と変動量の取り扱い	3-19
3.2.13	大豆の灌漑面積・非灌漑面積、作付面積の推計結果	3-19
3.3	平均単収	3-20
3.3.1	米（水田）の平均単収	3-20
3.3.2	小麦の平均単収	3-24
3.3.3	トウモロコシの平均単収	3-25
3.3.4	大豆の平均単収	3-26
第4章	主要農作物4品目の将来需要量	4- 1
4.1	主要農作物4品目の生産量と用途別内訳	4- 1
4.1.1	主要農作物4品目の生産量	4- 1
4.1.2	米（水田）の用途別内訳	4- 1
4.1.3	小麦の用途別内訳	4- 2
4.1.4	トウモロコシの用途別内訳	4- 3
4.1.5	大豆の用途別内訳	4- 3
4.2	主要農作物4品目「食用量」の将来需要量推計方法	4- 4
4.2.1	「全消費カロリー」と「一人当たりGDP」との関係	4- 4
4.2.2	主要食品別消費カロリーの推移(世界平均1970年～2007年)	4- 5

4.2.3	「食用米（水田）」の将来需要量推計方法	4- 5
4.2.4	「食用小麦」の将来需要量推計方法	4- 9
4.2.5	「食用トウモロコシ」の将来需要量推計方法	4-12
4.2.6	「食用大豆」の将来需要量推計方法	4-14
4.3	「食用量」以外の主要農作物 4 品目の将来需要量推計方法	4-15
4.3.1	飼料用小麦の将来需要量推計方法	4-15
4.3.2	飼料用トウモロコシの将来需要量推計方法	4-15
4.3.3	バイオ燃料用トウモロコシの将来需要量推計方法	4-17
4.3.4	加工用トウモロコシの将来需要量推計方法	4-18
4.3.5	加工用大豆の将来需要量推計方法	4-19
4.4	全食料消費カロリーによる 4 品目将来需要量のチェック	4-20
4.4.1	全食料消費カロリーの推計方法	4-20
4.4.2	主要農産物 4 品目以外の食品の上限値、下限値の設定	4-23
4.4.3	全消費カロリーによる推計の妥当性のチェック	4-31
4.5	主要農作物 4 品目の将来需要量	4-35
4.5.1	「CIESIN A1 シナリオ」の人口と一人当たり GDP の推計	4-35
4.5.2	食用米(水田)の全世界需要量推計値	4-35
4.5.3	植物性油一人当たり需要量の推計値	4-36
4.5.4	主要肉類 3 品目の一人当たり需要量の推計値	4-36
4.5.5	小麦の全世界需要量推計値	4-37
4.5.6	トウモロコシの全世界需要量推計値	4-37
4.5.7	大豆の全世界需要量推計値	4-38
第 5 章 生活用水と工業用水の将来水需要量		
5.1	生活用水	5- 1
5.1.1	生活用水の将来水需要量の推計方法	5- 1
5.1.2	「AQUASTAT」のデータによる「関係式」の設定	5- 3
5.1.3	生活用水の推計結果	5- 5
5.1.4	節水率の考慮	5- 8
5.2	工業用水	
5.2.1	工業用水の将来水需要量の推計方法	5- 9
5.2.2	「AQUASTAT」のデータによる「関係式」の設定	5- 9
5.2.3	工業用水の推計結果	5-14
5.2.4	回収再利用率の考慮	5-17

第6章 気候変動による世界の水資源量変化と社会的影響の分析方法

6.1 利用可能水資源量（「水資源」シナリオ）	6- 1
6.1.1 地下水からの取水量	6- 1
6.1.2 脱塩淡水化量	6- 1
6.1.3 表流水からの取水量（新規水資源開発）	6- 1
6.1.4 渇水による表流水からの取水量の減少	6- 2
6.1.5 そのほかの計算オプション	6- 3
6.2 水利用の考え方（「水配分」シナリオ）	6- 3
6.3 農作物生産量の消費の考え方（「穀物消費」シナリオ）	6- 4
6.4 影響分析検討ケース	6- 8
6.5 影響分析の評価指標	6- 8

第7章 気候変動による世界の水資源量変化と社会的影響の分析結果

7.1 新規水資源開発	7- 1
7.2 「渇水」の考慮	7- 1
7.3 生活用水が「50（リットル/人/日）」に満たない人口	7- 3
7.3.1 「新規水資源開発」と「水配分シナリオ」の効果	7- 3
7.3.2 「渇水」の影響	7- 5
7.4 「主要農作物4品目」の過不足量等	7- 6
7.4.1 米（水田）－「自国生産量の過不足量」及び「食用」	7- 6
7.4.2 小麦－「自国生産量の過不足量」及び「食用」	7- 9
7.4.3 小麦－「飼料用」	7-12
7.4.4 トウモロコシ－「自国生産量の過不足量」及び「食用」	7-13
7.4.5 トウモロコシ－「飼料用」	7-15
7.4.6 トウモロコシ－「加工用」	7-17
7.4.7 大豆－「自国生産量の過不足量」及び「食用」	7-18
7.4.8 大豆－「加工用」	7-20
7.5 食品消費カロリー「2100(Kcal/人/日）」に満たない人口	7-22
7.5.1 新規水資源開発シナリオ等に即した食品消費カロリー	7-22
7.5.2 「新規水資源開発」の効果	7-23
7.5.3 地域別	7-24
7.5.4 「渇水」の影響	7-24
7.6 影響分析シナリオの計算オプション	7-25
7.6.1 生活用水の節水	7-25
7.6.2 工業用水の回収水再利用	7-25
7.6.3 地下水の削減	7-25

7.7	主要国別・地域別の分析結果のまとめ	7-26
7.7.1	日本	7-26
7.7.2	アメリカ合衆国	7-27
7.7.3	ロシア	7-30
7.7.4	インド	7-34
7.7.5	中華人民共和国	7-37
7.7.6	インドネシア	7-41
7.7.7	ブラジル	7-44
7.7.8	南アフリカ	7-48
7.7.9	主要地域別	7-53
第8章	終章	
8.1	本研究で構築した推計モデルの自己評価	8- 1
8.1.1	生活用水需要量推計モデル	8- 1
8.1.2	工業用水需要量推計モデル	8- 1
8.1.3	食用・飼料用・加工用等主要農作物需要量推計モデル	8- 1
8.1.4	主要農作物生産量推計モデル	8- 2
8.1.5	気候変動の世界の水資源量変化と社会的影響の分析方法	8- 2
8.2	今後の研究課題と展望	8- 4
8.2.1	主要農作物生産量推計モデル	8- 4
8.2.2	表流水からの取水による水資源開発シナリオ	8- 5
8.2.3	地下水からの取水量	8- 5
8.2.4	脱塩淡水化製造量	8- 5
8.2.5	生活用水需要量推計モデル	8- 5
8.2.6	工業用水需要量推計モデル	8- 7
8.2.7	水配分シナリオ	8- 7
8.2.8	主要農作物の消費シナリオ	8- 7
8.2.9	世界の水資源量変化と社会的影響の分析評価指標	8- 8
8.2.10	今後の展望	8- 8
8.3	結び	8- 9

卷末参照－1 2000年～2009年の「水ストレス」と「期待灌漑農地単収」

参 1.1 米（水田）	参 1－ 1
参 1.1.1 天水ストレス	参 1－ 1
参 1.1.2 灌漑用水ストレス	参 1－ 2
参 1.1.3 期待灌漑農地単収	参 1－ 3
参 1.2 小麦	参 1－ 4
参 1.1.1 天水ストレスと灌漑用水ストレス	参 1－ 4
参 1.1.2 期待灌漑農地単収	参 1－ 5
参 1.3 トウモロコシ	参 1－ 6
参 1.1.1 天水ストレスと灌漑用水ストレス	参 1－ 6
参 1.1.2 期待灌漑農地単収	参 1－ 7
参 1.4 大豆	参 1－ 8
参 1.1.1 天水ストレスと灌漑用水ストレス	参 1－ 8
参 1.1.2 期待灌漑農地単収	参 1－ 8

卷末参照－2 主要農作物4品目の生産状況

参 2.1 生産量の推移	参 2－ 1
参 2.2 作付面積の推移	参 2－ 2
参 2.3 米（水田）の生産状況	参 2－ 4
参 2.4 小麦の生産状況	参 2－ 5
参 2.5 トウモロコシの生産状況	参 2－ 6
参 2.6 大豆の生産状況	参 2－ 7

卷末参照－3 主要3用途の用水使用量と水源別取水量

参 3.1 主要3用途の用水使用量	参 3－ 1
参 3.1.1 主要3用途の世界合計用水使用量	参 3－ 1
参 3.1.2 生活用水	参 3－ 1
参 3.1.3 工業用水	参 3－ 2
参 3.1.4 農業用水	参 3－ 3
参 3.2 地下水	参 3－ 4
参 3.2.1 取水量	参 3－ 4
参 3.2.2 取水量の経年変化	参 3－ 5
参 3.3 表流水	参 3－ 6
参 3.3.1 取水量	参 3－ 6
参 3.3.2 取水量の経年変化	参 3－ 7

参 3.4	脱塩淡水化製造量	参 3- 8
参 3.4.1	製造量	参 3- 8
参 3.4.2	製造量の経年変化	参 3- 8

卷末参照- 4 バイオエネルギーについて

参 4.1	バイオエネルギーの概要	参 4- 1
参 4.2	バイオマスの種類	参 4- 1
参 4.3	バイオ燃料導入に関する主要国動向	参 4- 2
参 4.4	ブラジルのバイオエタノール概況	参 4- 3
参 4.5	アメリカ合衆国のバイオエタノール概況	参 4- 4
参 4.6	欧州のバイオエタノール導入状況	参 4- 5
参 4.7	アジアのバイオエタノール導入状況	参 4- 5
参 4.8	日本の燃料用バイオエタノール導入計画	参 4- 6

卷末参照- 5 農作物の将来生産量に関する代表的なモデル

参 5.1	「AGLINK」モデル	参 5- 1
参 5.2	「AGLINK-COSIMO」モデル	参 5- 4
参 5.3	平成 23 年度農林水産省モデル	参 5- 5

図目次

表目次

第1章 序章

1.1 本研究の背景

2007年に公表された「気候変動に関する政府間パネル(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)」の第4次報告書は、人為起源の温室効果ガスの増加に起因して地球の気候システムに温暖化が起こっているとほぼ断定した。そして、この温暖化によって、以下のような極端な気象現象のリスクが増加することによる影響と脆弱性(影響への適応能力を含む)の関係を指摘している¹⁾。

i) 特異的かつ危機にあるシステムへのリスク

極地や山岳社会・生態系といった特異で危機にさらされているシステムのリスクが増加する。

ii) 極端な気象現象のリスク

干ばつ、熱波、洪水など極端な気象現象のリスクが増加する。

iii) 影響及び脆弱性の分布

地域的、社会的な弱者に大きな影響と脆弱性が表れる。

iv) 集計的な総影響

地球温暖化の便益は、温度がより低い段階で頭打ちになり、地球温暖化の進行に伴い被害が増大し、地球温暖化のコストは時間とともに増加する。

v) 大規模特異事象のリスク

- ・ 温暖化時の海面水位の上昇は避けられない。熱膨張による海面水位の上昇は温室効果ガス濃度が安定化した後も数世紀にわたり継続し、評価されたどの安定化レベルでも、21世紀中に予想されているよりも高い上昇が結果的に起きる
- ・ 世界平均気温が、産業革命以前と比較して1.9~4.6°C以上上昇した状態が数世紀続くと仮定した場合、グリーンランド氷床の消失は、数mの規模で海面水位上昇に寄与し、それは熱膨張による寄与よりも大きい可能性がある。
- ・ 熱膨張及び氷床の気温上昇に対する応答の時間スケールが長いため、たとえ温室効果ガス濃度が現在又はそれ以上のレベルで安定したとしても、海面水位は今後数世紀にわたって上昇する。

地球温暖化により、世界各地で異常気象が頻発し、食料供給に影響を及ぼしていると言われる中で、今後、更に温暖化が進行すれば、水資源の不足、砂漠化、栽培適地の変化などにより世界の農業生産に深刻な影響を及ぼすことが懸念されている。

水と食料は、人間の生命の維持に欠くことができないものであり、健康で安定した生活の基礎として重要な物資である。世界の安定と持続的発展のためには、将来にわたって良質な水と十分な食料が合理的な価格で安定的に供給されることが極めて重要であるが、最近の食料をめぐる国際情勢をみる²⁾と、

- ① 1970年から現在までの農作物耕作面積は、横ばいないしはやや減少しているが、単位面積当たりの収穫量（単収）が増加したことにより、主要穀物の需要量に対応する生産量は確保されてきた。
- ② 単収の伸びは、灌漑と施肥によるものだが、近年の伸び率は小さくなっていく傾向が見られる。これは、灌漑に不利な条件を持つ耕作地が多いことも一因と考えられる。さらに、水資源の確保も重要な課題である。
- ③ 主要穀物の輸出国は、米国、ブラジル、アルゼンチンなどの少数の国や地域に限られていることから、これらの国々での作況が世界全体の食料供給に大きな影響を与える。
- ④ 米国は、2007年1月のブッシュ大統領の一般教書演説でエタノールの生産原料としてトウモロコシを使用することを表明したが、飼料用としての需要が拡大すると予想される中でトウモロコシの不足が懸念される。

＜参考：米国のエタノール生産使用トウモロコシ量＞

- ・ 2006年 5,460万トン（生産量の20%）
- ・ 2015年 9,000万トン（農商務省が提示した上限量）

BRICs（ブラジル、ロシア、インド、中国の4か国）やインドネシア、さらには、アフリカ諸国の発展途上国は、急速な経済成長を遂げつつあり、人口も増加している。これに呼応して、食料に対する需要が量的・質的に大きく変化することが想定される。

このような中であって、我が国は、カロリーベースで約6割の食料を海外からの輸入に頼っており、近年提唱されているバーチャルウォーターの概念から見れば我が国の豊かな生活は海外の水に大きく依存している。したがって、世界の水と食料に関する将来の動向は、日本の安全保障にとって極めて重要な意味を有していると言える。

1.2 本研究の目的

以上のような背景を踏まえ、本研究は、気候変動及び将来の人口増加と経済発展を考慮した世界の各国別の

- a) 将来の都市用水と工業用水の需要量
- b) 将来の主要農作物の消費量（食用、飼料用、加工用、バイオ燃料用）
- c) 将来の主要農作物生産量とその生産のための農業用水の必要量
- d) 気候変動を考慮した将来の水資源量の変化
- e) 将来の想定水資源開発量に対応した都市・工業・農業の各用水供給可能量とそれぞれの用水の過不足（水ストレス）、主要農産物生産量、食料の需給過不足量、食料困窮人口等

を推計するモデルを構築し、もって、水と食料の安全保障の観点から我が国の技術的な貢献の在り方について研究することを目的とするものである。

1.3 本研究の対象とした主要農作物

主食あるいは家畜の飼料として生産量の多い「米」、「小麦」、「トウモロコシ」、消費カロリー量が比較的大きい植物性油の主原料である「大豆」の4つの農作物を推計対象とした（表 1.1）。

表 1.1 2000 年の主要農作物の生産量(百万トン)

農作物	生産量	比率
米(水田) ^{注)}	599.3	22.3%
小麦	585.5	21.8%
トウモロコシ	592.1	22.0%
その他穀物	283.3	10.5%
大豆	161.4	6.0%
ジャガイモ	327.3	12.2%
サツマイモ	139.0	5.2%
合計	2,687.9	100.0%

注)「米(水田)」とは、「水田から収穫された(もみ殻の付いた)状態」をいう

「ジャガイモ」、「サツマイモ」等のいも類については、生産量は比較的大きいが、消費カロリーに占める比率が小さいことから推計対象とはしなかった（表 1.2）。

表 1.2 2000 年の主要食品別の消費カロリー（世界平均）

食 品	消費カロリー (Kcal/人日)	比率
米(水田)	541.7	19.9%
小麦	544.7	20.0%
トウモロコシ	131.0	4.8%
大豆	4.4	0.2%
いも類	146.9	5.4%
植物性油	246.4	9.0%
その他植物性食物	656.5	24.1%
牛肉	39.1	1.4%
豚肉	113.2	4.2%
家禽	43.4	1.6%
牛乳(除くバター)	119.7	4.4%
その他動物性食物	139.7	5.1%
合計	2,726.6	100.0%

(表 1.1、表 1.2 のデータ出典：FAOSTAT 統計)

1.4 本研究で構築した推計モデルの構成（図 1.1）

1.4.1 将来の水資源賦存量の推計

東京大学生産技術研究所の沖大幹教授の研究グループが気候変動の「A1B」シナリオに即して算出した 1990 年～2050 年の世界各国別の「月別降水量」、「月別蒸発散量」、「越境流出量」及び「越境流入量」の計算データから将来の水資源賦存量を算出した。

1.4.2 主要農作物生産量推計モデル

「実際の生産量は農業用水の充足度のみで左右される」との仮定を基本として、実績の生産量・作付面積・単収と農業用水取水量・作付期間・作物別月別灌漑用水供給量・降水量から、灌漑農地と非灌漑農地のそれぞれについて農業用水の給水量と生産量に関する推計式を作成した。

将来の農作物生産量は、この推計式を用い、農業用水供給量の推計値と上記 1.4.1 の「月別降水量」、「月別蒸発散量」の計算データを使用して算出した。

1.4.3 食用・飼料用・加工用等主要農作物需要量推計モデル

1) 対象農作物 4 品目の将来食用需要量

国別に 2000 年～2007 年の「一人当たり実績消費量 (g /人/日)」と「一人当たり GDP (1990 年 US\$換算)」から関係式を作成し、将来推計の「人口」と「一人当たり GDP (1990 年 US\$換算)」により将来需要量を推計した。

2) 小麦とトウモロコシの将来飼料用需要量

1992 年～2007 年の一人当たりの肉類（牛肉、豚肉、家禽）の実績需要量と飼料用農作物の実績需要量の相関式から将来の飼料用需要量を推計した。

なお、将来の一人当たりの肉類（牛肉、豚肉、家禽）の需要量は、農作物と同様に実績のトレンド傾向から算出した。

3) トウモロコシと大豆の将来加工用需要量

1992 年～2007 年の一人当たりの植物性油の実績需要量 (g /人/日) と加工用農作物の実績需要量の相関式から将来の加工用需要量を推計した。

なお、一人当たりの植生性油の需要量は、農作物と同様に実績のトレンド傾向から算出した。

4) エタノール原材料トウモロコシの需要量

アメリカ合衆国について、以下の量を生産量から先取することとした。

上位：アメリカ合衆国農務省の上限値であるトウモロコシ「90 百万トン」
(2005 年 全世界のトウモロコシ生産量の約 12.6%に相当)

中位：現在バイオ燃料に利用されているトウモロコシ「50 百万トン」
(2005 年 全世界のトウモロコシ生産量の約 7.0%に相当)

1.4.4 生活用水需要量推計モデル

「AQUASTAT」の 2000 年の生活用水取水実績から「一人当たり生活用水量」を算出し、これと実績の「一人当たり「GDP」(1990US\$MEX)」から関係式を同定する。この関係式と将来推計人口から将来の生活用水需要量を推計する。

さらに、日本では、エコ意識と経費節減意識の高まりに呼応するように、節水型の洗濯機や食器洗浄乾燥機、トイレ等が普及しつつある。節水された水容量は他の用途に充当することが可能となる。そこで、推計モデルの計算オプションの一つとして節水率を考慮した計算を組み込んだ。

1.4.5 工業用水需要量推計モデル

工業は、いずれの国々においても選択集中投資によって政策的に発展している側面が見られることから、国民一人一人の生活水準よりその国全体の「GDP」との相関関係が高いと推測される。そこで、「AQUASTAT」の 2000 年の工業用水取水実績と実績「GDP」(1990US\$MEX)」から関係式を同定する。この関係式と「GDP」将来予測値から工業用水の将来水需要量を推計する。

さらに、日本では使用した工業用水を回収し、処理後に再び利用することにより工業用水の取水量が減少している。このような回収再利用による将来水需要量の削減効果を計算に組み込んだ。

1.4.6 各用水及び農作物の生産量・食料の過不足量の推計

想定した新規水資源開発量と水資源賦存量から将来の使用可能水資源量の推計は可能であるが、3 用水の推計需要量の方が大きくなることが予想される。

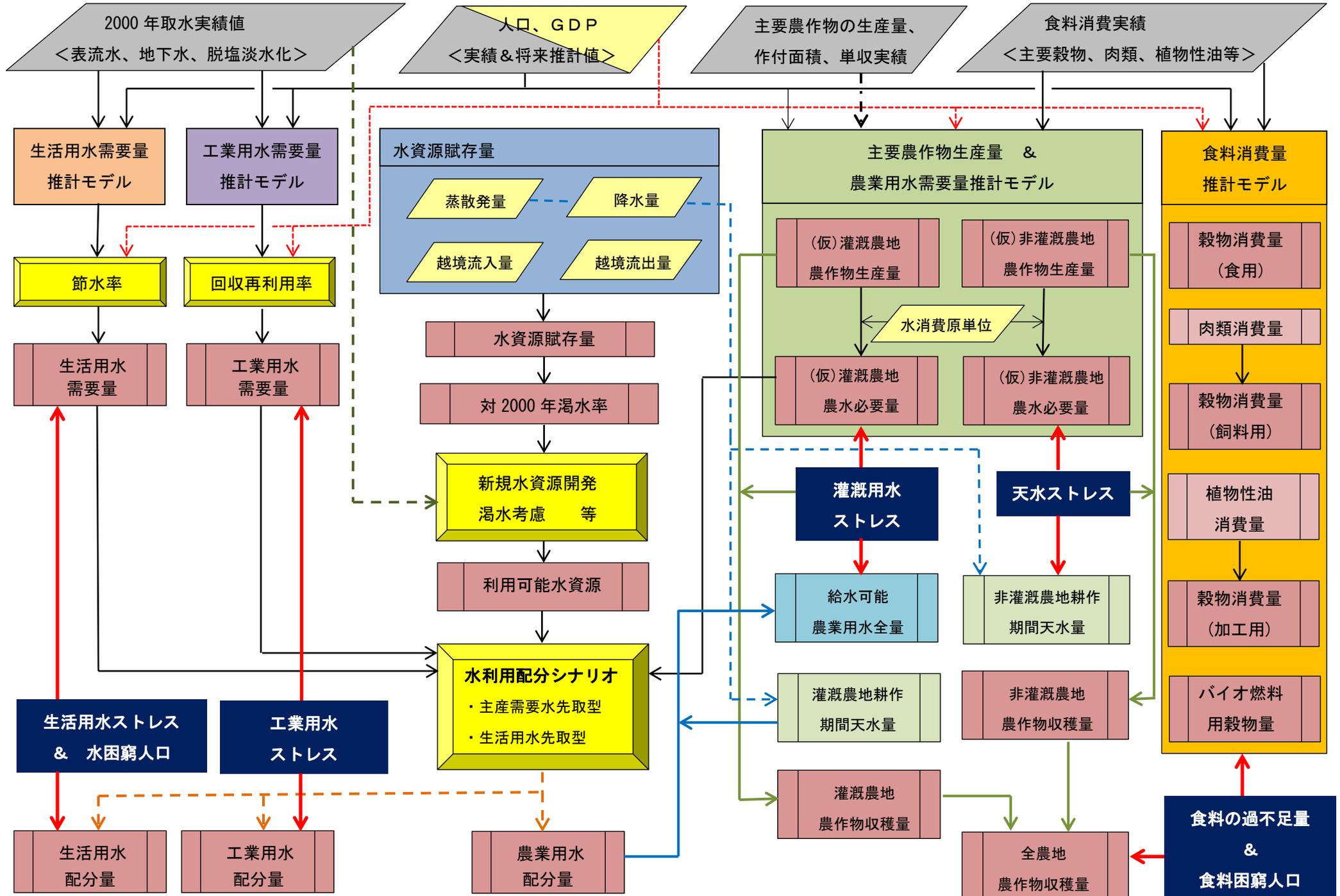
そこで、仮定に基づく水利用配分シナリオから 3 用水の配分量を決定し、農業(灌漑)用水の配分量と降水量から主要農作物の生産量を推計し、将来の食料需要量の推計と比較することで食料の過不足量と食料困窮人口を算出した。

さらに、生活用水・工業用水の過不足量は、配分量と需要推計値から算出するとともに、生活用水の困窮人口を推計した。

<参考文献>

- 1) IPCC 第4次評価報告書 統合報告書 政策決定者向け要約（翻訳）、平成19年11月30日、文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省
- 2) 食料をめぐる国際情勢とその将来に関する分析、国際食料問題研究会報告書、平成19年11月、農林水産省

図 1.1 本研究で構築した推計モデルの構成



第2章 本研究に使用した各種データ等

2.1 データ

2.1.1 各種統計データ

主要農作物の生産と消費に関するデータ（耕地面積、穀物生産量、単位面積当たりの収穫量、穀物消費量等）及び水需給データは、国連の AQUASTAT と FAOSTAT からそれぞれ入手した。

実績値の動向の確認とモデル計算結果の評価のために、実績の「人口」、「GDP」、「GNI」は、国連 UNSTATS、「GDP(PPP)」は、OECD からそれぞれ入手した。

表 2.1 使用データ一覧

区 分	項 目	出 典	データ年	備 考
農作物の 生産関係	生産量	FAOSTAT	1970～2010	実績値
	作付面積	FAOSTAT	1970～2010	実績値
	単 収	FAOSTAT	1970～2010	実績値
	灌漑面積（全農地合計）	AQUASTAT	1990～2000 (ほぼ5年毎)	実績値
	作物別灌漑農地面積	AQUASTAT	2000	実績値
用水関係	表流水からの取水量 (生活、工業、農業)	AQUASTAT	1980～2008 (ほぼ5年毎)	実績値
	地下水からの取水量 及び脱塩淡水製造量	AQUASTAT	1980～2008 (ほぼ5年毎)	実績値
	作物別月別灌漑パターン	AQUASTAT	2000	実績値
	年間降水量	AQUASTAT	1982～2008 (ほぼ5年毎)	実績値
農作物の 用途関係	食料供給量	FAOSTAT	1970～2007	実績値
	加工・飼料等供給量	FAOSTAT	1970～2007	実績値
	輸入・輸出・国内供給	FAOSTAT	1970～2007	実績値
基本指標	人口	UNSTATS	1970～2008	実績値
	GDP	UNSTATS	1970～2008	実績値
	GNI	UNSTATS	1970～2008	実績値
	GDP(PPP)	OECD	1990～2007	実績値

2.1.2 採用した気候変動の将来予測シナリオ

将来の「GDP」と「人口」は、下記に示す IPCC の温室効果ガス排出シナリオ（SRES シナリオ）¹ に対応した予測をしている「CIESIN（Center for International Earth Science Information Network, EARTH INSTITUTE/Columbia University）」のものを用いた。

気候変動の将来予測シナリオとしては、気候変動枠組条約における議論の経緯、特に、米国をはじめとする二酸化炭素の大量排出国が消極的姿勢を見せている現状や BRICs と称されるブラジル、ロシア、インド、中国などの目覚ましい経済発展状況を勘案し、将来予測シナリオとして気候変動に関する政府間パネル（IPCC）に用いられている温室効果ガス排出シナリオ（SRES シナリオ）の「A1」を採用した。

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）に用いられている
温室効果ガス排出シナリオ（SRES シナリオ）

シナリオ	解 説
A 1	<p>「高成長型社会シナリオ」</p> <ul style="list-style-type: none"> 世界中がさらに経済成長し、教育、技術等に大きな革新が生じる高度経済成長が続き、世界人口が 21 世紀半ばにピークに達した後に減少し、新技術や高効率化技術が急速に導入される未来社会を描いている。 <p>主要な基本テーマは、地域間格差の縮小、能力強化（キャパシティービルディング）及び文化・社会交流の進展で、1 人当たり所得の地域間格差は大幅に縮小するというものである。A1 シナリオファミリーは、エネルギーシステムにおける技術革新の選択肢の異なる三つのグループに分かれる。この三つの A1 グループは技術的な重点の置き方によって以下のものに区別される。</p>
A 1 F 1	化石エネルギー源重視
A 1 T	非化石エネルギー源を重視（新エネルギーの大幅な技術革新）
A 1 B	各エネルギー源のバランスを重視
A 2	<p>「多元化社会シナリオ」</p> <ul style="list-style-type: none"> 世界経済や政治がブロック化され、貿易や人・技術の移動が制限 経済成長は低く、環境への関心も相対的に低い非常に多元的な世界を描いている。基本テーマは独立独行と地域の独自性の保持である。出生率の低下が非常に緩やかなため、世界の人口は増加を続ける。地域的経済発展が中心で、1 人当たりの経済成長や技術変化は他の筋書きに比べ、バラバラで緩やかである。
B 1	<p>「持続的発展型社会シナリオ」</p> <ul style="list-style-type: none"> 環境の保全と、経済の発展を地球規模で両立する。地域間格差が

¹ 「排出シナリオに関する特別報告（Special Report on Emissions Scenarios）」：IPCC が 2001 年に作成した報告書。世界の社会経済に関する将来の道筋を「経済志向－環境・経済調和志向」、「地球主義志向－地域主義志向」の計 4 つに大別し、それぞれの道筋を叙述的又は定量的に描写している。これらを前提として、将来の温室効果ガス排出量が推計されている。

	縮小した世界を描いている。A1 の筋書きと同様に 21 世紀半ばに世界人口がピークに達した後に減少するが、経済構造はサービス及び情報経済に向かって急速に変化し、物質志向は減少し、クリーンで省資源の技術が導入されるというものである。経済、社会及び環境の持続可能性のための世界的な対策に重点が置かれる。この対策には公平性の促進が含まれるが、新たな気候変動対策は実施されない。
B 2	<p>「地域共存型社会シナリオ」</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 地域的な問題解決や世界の公平性を重視し、経済成長はやや低い ・ 環境問題等は、各地域で解決が図られる。経済、社会及び環境の持続可能性を確保するための地域的対策に重点が置かれる世界を描いている。世界の人口は A2 よりも緩やかな速度で増加を続け、経済発展は中間的なレベルに止まり、B1 と A1 の筋書きよりも緩慢だが、より広範囲な技術変化が起こるというものである。このシナリオも環境保護や社会的公正に向かうものであるが、地域的対策が中心となる。

2.1.3 本研究の対象国

CIESIN には、184 の国と地域（「セルビア」と「モンテネグロ」を 1 か国とカウント）が掲載されているが、このうち、エリトリア、西サハラ、パレスチナ・ガザ地区、東チモール、グアム島の 5 か国・地域には「GDP」の数値が記載されていない。また、旧ソ連邦のグルジアの 2050 年の一人当たり「GDP」は、35 ドル（1990 年 US\$換算）と極端に小さく予測されている。

さらに、AQUASTATS に取水量データがない 13 か国・地域（香港、マカオ、サモア・仏領ポリネシア・レユニオン等の島嶼国）を加えた合計 18 か国・地域のデータは、各種相関式の推定及び本研究モデルには使用しないこととした。

これら 18 か国・地域の人口の世界的シェアは、1990 年時点・2050 年将来予測値ともに 0.4%弱、また、「GDP」の世界的シェアは、1990 年時点で 0.5%弱、2050 年将来予測値では香港の伸びが大きいものの 1.7%弱であり、世界的に見るとごく小さく、全体に与える影響は小さい。

したがって、最終的に 166 か国・地域を対象とした。

2.1.4 対象国 166 か国の区分

1) 「地域区分」

地域については、経済的な関係や生活様式の類似性も考慮し、「アジア」、「中近東」、「オセアニア」、「アフリカ」、「西ヨーロッパ」、「東ヨーロッパ」、「北アメリカ」、「中央アメリカ」及び「南アメリカ」の 9 つの地域に区分した。

2) 「気候区分」

気候については、「温帯」、「乾燥帯」、「熱帯」、「冷帯」の 4 つの気候に区分した。

3) 「経済的区分」

水使用の実態や農業生産の違いをより明確に分析・把握とともに、将来の水利用に関するシナリオ（後述）を設定する観点から、気候変動枠組み条約の構成も参考にしつつ、経済発展状況及び現況の水利用状況に配慮して以下の通り区分した。

- (a) 先進国 : 気候変動枠組条約の付属書IIのうち、欧州共同体(EC)と一人当たり「GDP」が少ないトルコを除く 23 か国
- (b) 経済発展国 : 気候変動枠組条約の付属書Iのうち、欧州共同体(EC)、先進国、経済縮小が続くバルト三国（エストニア、ラトビア、リトアニア）、小国（モナコ、リヒテンシュタイン）を除く 11 か国と二酸化炭素の主要排出国 7 か国、経済規模の大きいイスラエルを加えた、合計 19 か国
- (c) 産油国 : 石油輸出が経済の主体となっている国のうち「GDP」が小さいナイジェリア、アンゴラを除く 12 か国
- (d) 農業国 : 上記以外の国

図 2.1 「地域区分」と「気候区分」

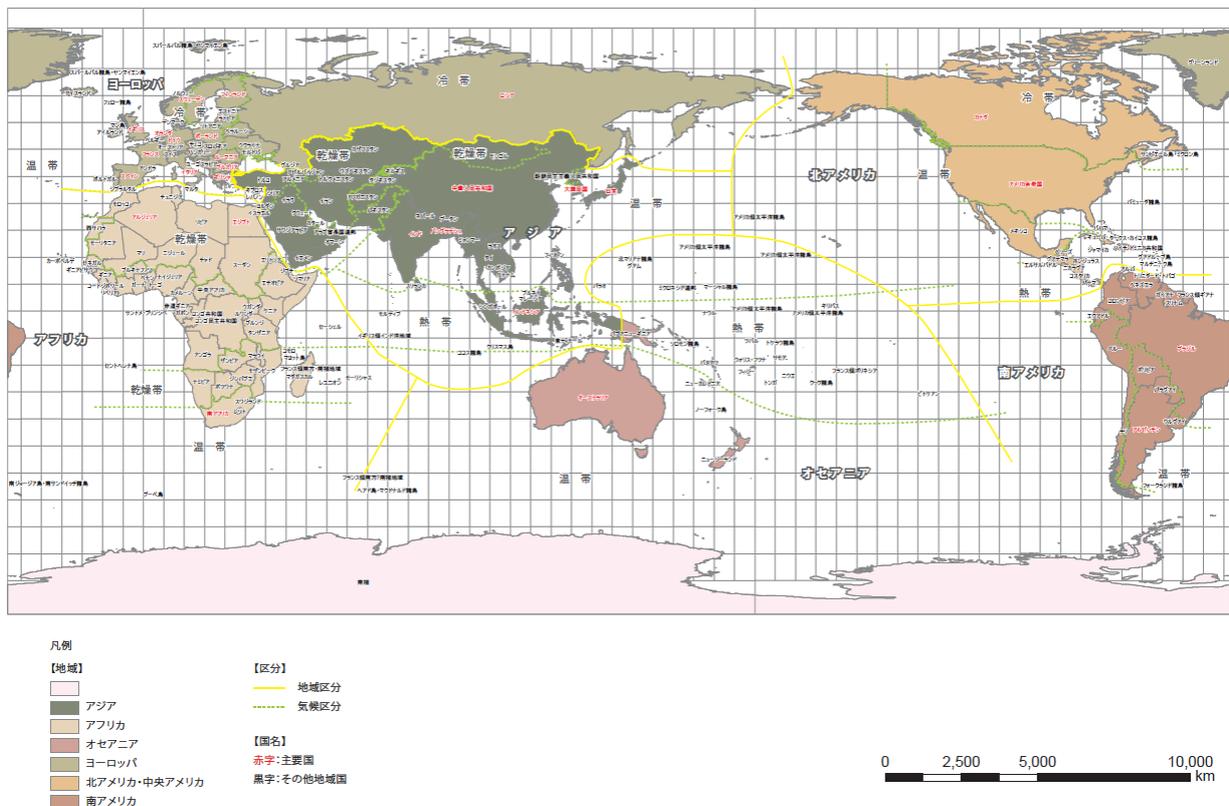


表 2.2 対象 166 国の「経済的区分」

先進国		経済発展国		産油国
オーストラリア	オランダ	ベラルーシ	中華人民共和国	サウジアラビア
オーストリア	ニュージーランド	ブルガリア	インド	アラブ首長国連邦
ベルギー	ノルウェー	ルーマニア	ブラジル	イラン
カナダ	ポルトガル	ロシア	大韓民国	クウェート
デンマーク	スペイン	ウクライナ	メキシコ	エクアドル
フィンランド	スウェーデン	クロアチア	インドネシア	ベネズエラ
フランス	スイス	スロベニア	南アフリカ	バーレーン
ドイツ	イギリス	チェコ	イスラエル	アルジェリア
ギリシャ	アメリカ合衆国	ハンガリー		イラク
アイルランド	日本	ポーランド		リビア
アイスランド	ルクセンブルグ	スロバキア		カタール
イタリア				オマーン

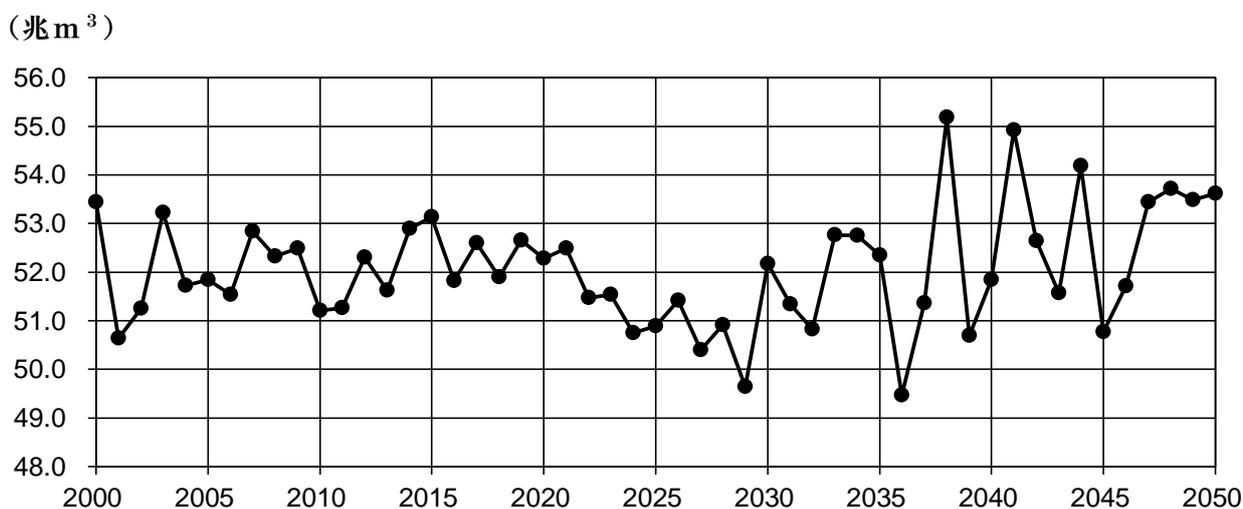
2.1.5 水資源賦存量

水資源賦存量データは、「A1」の内の「A1B」シナリオに即して東京大学生産技術研究所の沖大幹教授の研究グループにおいて算出された 1990 年～2050 年の世界各国別の「月別降水量」、「月別蒸発散量」、「越境流出量」及び「越境流入量」の計算データの提供を受け、モデルの入力値とした。

計算式は、以下のとおりであるが、水資源賦存量は、その国で自然の水循環系の中での利用可能な水資源量の最大値を意味している。

$$(\text{水資源賦存量}) = (\text{降水量}) - (\text{蒸発散量}) + (\text{越境流入量}) - (\text{越境流出量})$$

図 2.2 水資源賦存量の計算値（全世界合計）



2.2 説明指標としての「GDP」の代表性の検証検討

本研究では、将来の水需要や穀物生産量等の将来予測に用いる説明指標として「GDP」を採用した。「GDP(US\$MEX)」は、一国の経済活動を包括的に示す指標として統計的に整理されているデータであるが、類似の経済指標には、「GNI(国民総所得)」と「GDP(PPP〈Purchasing Power Parity: 購買力平価〉)」がある。そこで、以下の通り、これらの相関関係の検討を行い「GDP」が説明指標としての代表性を有しているか否かの検証を行う。

2.2.1 「GNI(国民総所得)」との検証

「GNI(国民総所得)」は、GDPに国外から働きに来ている就業者への賃金(国内から海外への支払)や国外への貸出に対する支払い(国外からの国内への支払)が反映されたものである。1990年代半ば以前に経済活動の指標として使われていた国民総生産(GNP, Gross National Product)と基本的には同一のものである。日本の国民経済計算(国民所得統計)では、2000年に大幅な体系の変更が行われた際に統計の項目として新たに設けられた。

「GNI」は経済活動を評価する際の基準として、GDPに対して対外的な資金の出入りの分を補正した指標であることからGDPよりも現実の経済活動をよりよく反映している指標であると考えられる。

「GDP」と「GNI」の関係を確認するため、2007年の「GNI」上位国と2050年の「予測GDP(CEISIN A1シナリオ)」上位国について、両者の相関関係を図に示すと図2.3、図2.4のような関係となっている。

名目GDPとGNIの相関をとると、ほぼ一直線上に並んでおり、このことから、両者はほぼ同様の傾向を示すため、経済指標として、モデルに適用する際には、予測値を含めたデータが整備されているGDPを用いても支障がないことが確認できた。

図 2.3 GDP(current)－GNI(current)の関係 (1990年－2008年)

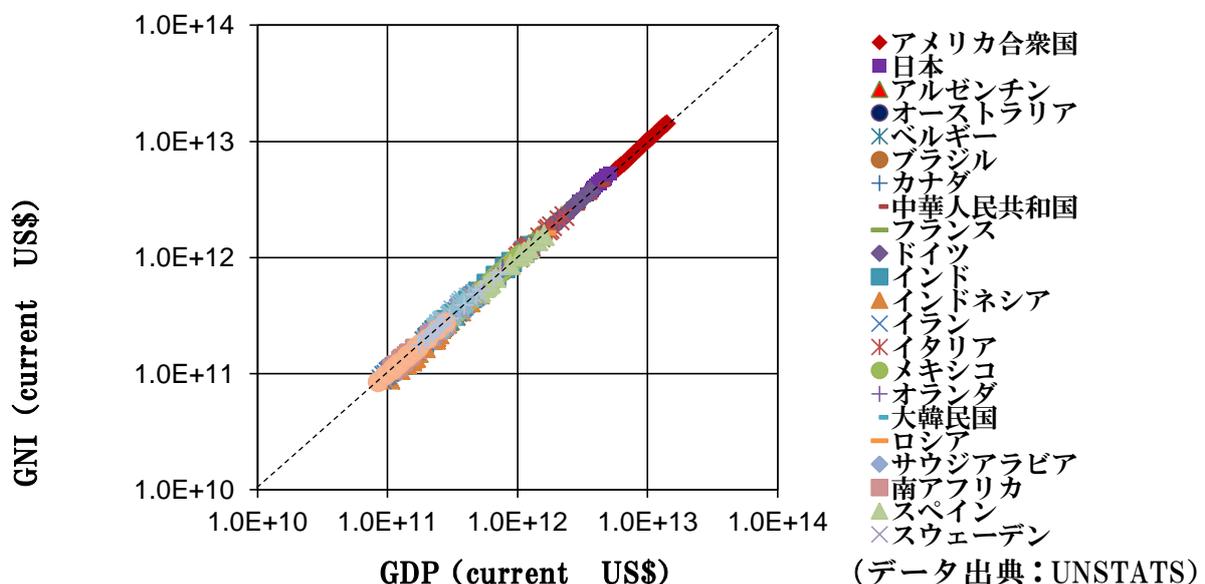
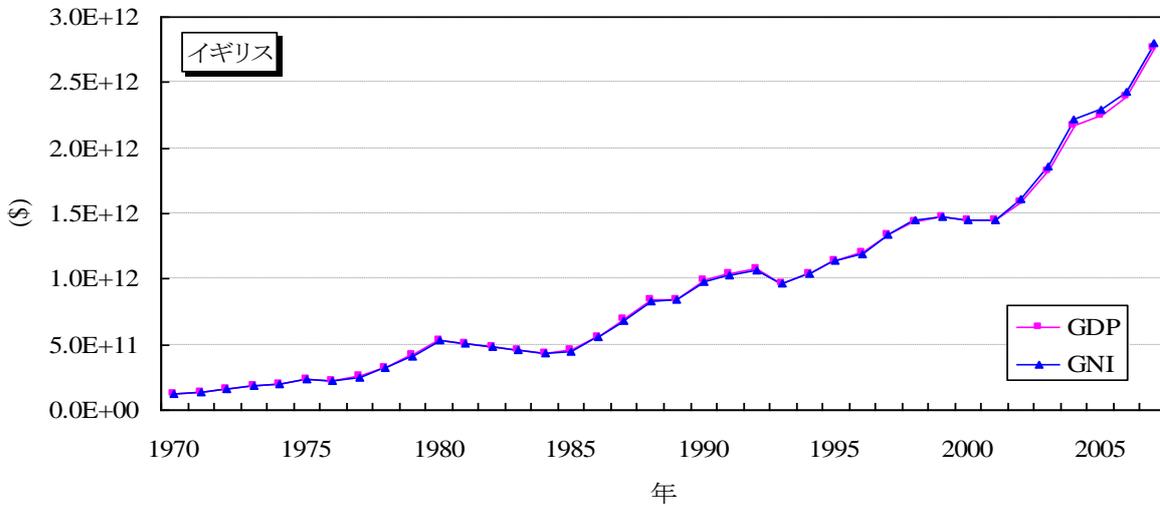
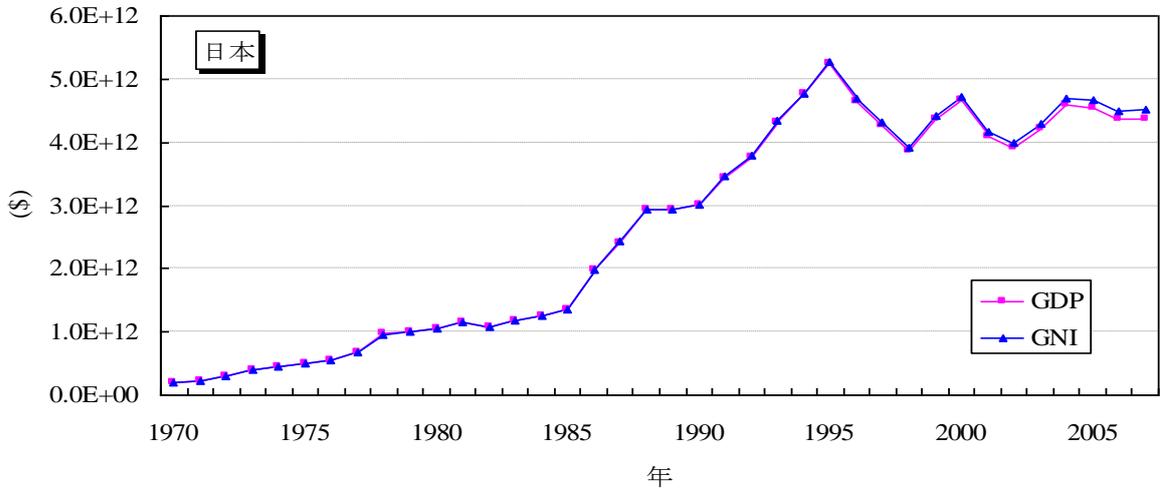
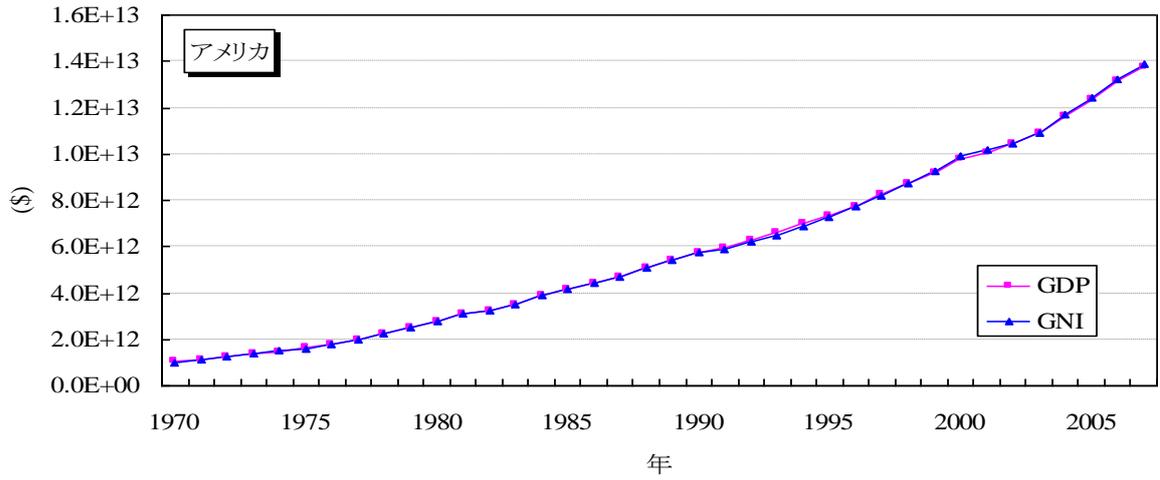


図 2.4 GDP と GNI の推移 (アメリカ、日本、イギリス)



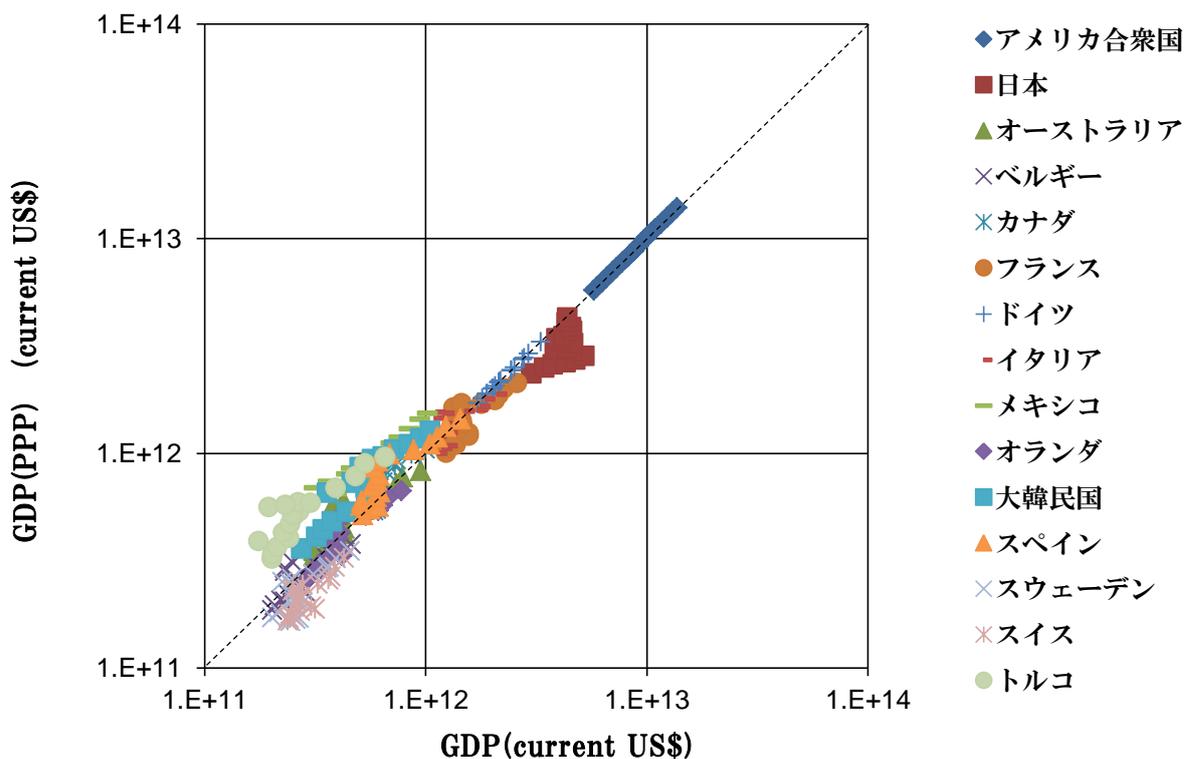
2.2.2 「GDP (PPP) 」との検証

「GDP(PPP 〈Purchasing Power Parity：購買力平価〉)」は、国家間の物価水準における差を除去することによって、異なる通貨の購買力を等しくして評価する指標であり、

「GDP(PPP)」は、「GDP(MEX)」よりも現実の経済活動をより良く反映している指標と考えられる。

両者の相関関係は、図 2.5 に示す通りほぼ同一線上に並んでおり、経済指標としてモデルに適用する際には、予測値も含めてデータが整備されている、「GDP(MEX)」を使用しても支障がないことが確認できた。

図 2.5 GDP(current US\$)－GDP(PPP) (current US\$) の関係 (1990 年－2007 年)



(データ出典： GDP(current US\$) : UNSTATS
GDP(PPP) (current US\$) : OECD)

2.3 CIESIN の将来予測値（A1 シナリオ）の概要

「GDP」と「人口」は、水需要量や食料需要量と密接に関連する重要な指標であることから、CIESIN の将来予測値の概要について分析を行う。

2.3.1 CIESIN 「GDP」 将来予測値の概要

「GDP」将来予測値（1990年US\$換算）の経年的な推移をみると、IPCCのA1シナリオが高度成長型社会を想定していることを反映し、全世界の「GDP」は増加を続け2050年時点で約180兆ドル（1990年の8.4倍）と予測されている。

図 2.6 世界全体の CIESIN 「GDP」 将来予測値の推移

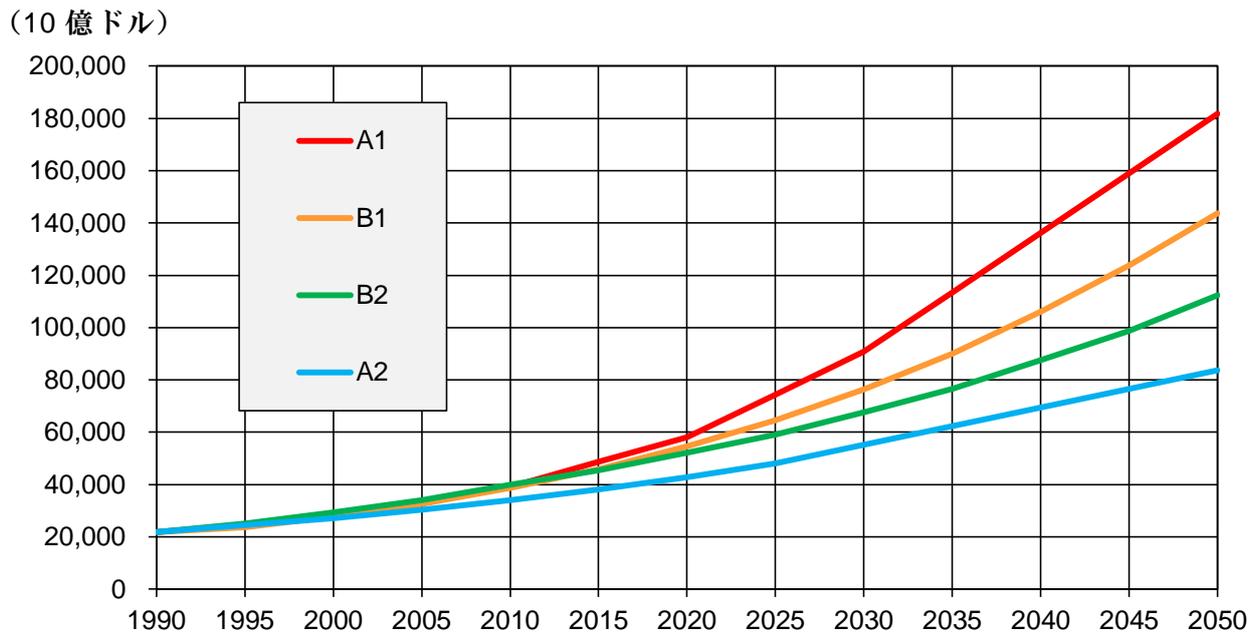


表 2.3 2050年 CIESIN 「GDP」 将来予測値 上位 10 か国

(単位:百万ドル、1990US\$MEX)

順位	国名	地域区分・気候帯区分	1990年	2050年
1	中華人民共和国	アジア 温帯	354,640	23,333,252
2	アメリカ合衆国	北アメリカ 温帯	5,750,800	21,758,785
3	インド	アジア 温帯	316,210	9,659,660
4	ブラジル	南アメリカ 熱帯	464,980	9,426,605
5	日本	アジア 温帯	2,970,000	7,980,631
6	大韓民国	アジア 温帯	252,620	7,717,097
7	ロシア	東ヨーロッパ 冷帯	579,060	6,635,086
8	ドイツ	西ヨーロッパ 温帯	1,720,400	5,569,028
9	メキシコ	中央アメリカ 乾燥帯	262,710	5,325,957
10	南アフリカ	アフリカ 温帯	111,990	4,942,652

また、地域毎の GDP 動向をみると、途上国を多く擁するアフリカ、南米、アジア地域の経済発展が顕著であり、ヨーロッパ、北米、オセアニア地域の GDP の伸びは、緩やかであると予測されている。

表 2.4 地域別 CIESIN 「GDP」 将来予測値の比較

GDP (10 億ドル)	1990 年	2050 年	伸 率
ア ジ ア	5,132.8	77,932.0	15.2
ア フ リ カ	476.9	18,117.2	38.0
ヨ ー ロ ッ パ	8,337.9	35,892.9	4.3
北 中 央 ア メ リ カ	6,678.5	30,306.2	4.5
南 ア メ リ カ	782.6	15,866.4	20.3
オ セ ア ニ ア	364.0	1,279.5	3.5
全世界	21,772.8	179,394.3	8.4

2.3.2 CIESIN 一人当たりの「GDP」 将来予測値の概要

一人当たりの「GDP」 将来予測値を見ると、中近東、アジアの発展途上国の国々が上位となっているが、大韓民国と南アフリカを除くと、いずれも人口の少ない国・地域となっている。

表 2.5 2050 年 CIESIN 一人当たり「GDP」 将来予測値

(単位：ドル、1990US\$MEX)

順位	国名	地域区分・気候区分	1990 年	2050 年
1	アラブ首長国連邦	中 近 東 乾 燥 帯	16,900	235,009
2	シンガポール	ア ジ ア 熱 帯	11,500	232,664
3	カタール	中 近 東 乾 燥 帯	16,198	230,124
4	ブルネイ	ア ジ ア 熱 帯	13,229	200,338
5	大韓民国	ア ジ ア 温 帯	5,579	147,619
6	イスラエル	中 近 東 温 帯	11,598	133,712
7	バルバドス	中央アメリカ 熱 帯	6,681	131,394
8	クエート	中 近 東 乾 燥 帯	8,576	119,953
9	スイス	西ヨーロッパ 温 帯	33,384	117,038
10	南アフリカ	ア フ リ カ 温 帯	3,009	115,516
22	イタリア	西ヨーロッパ 温 帯	19,414	73,521
23	オーストリア	西ヨーロッパ 温 帯	20,972	72,059

24	ド イ ツ	西ヨーロッパ 温帯	21,634	70,113
25	ノ ル ウ ェ ー	西ヨーロッパ 温帯	27,188	69,317
27	日 本	ア ジ ア 温帯	24,041	64,915

同様に、国別に一人あたりの「GDP」将来予測値の伸び倍率を見ると、やはり、アジア、アフリカの発展途上国の国々が上位となっているが、人口の多い中華人民共和国とベトナムが入っていることは注目に値する。

表 2.6 2050 年 CIESIN 一人当たり「GDP」将来予測値伸び倍率 上位 10 か国
(単位：ドル、1990US\$MEX、倍)

順位	国名	地域区分・気候区分	1990 年	2050 年	倍率
1	中華人民共和国	アジア 温帯	312	18,297	58.6
2	朝鮮民主主義人民共和国	アジア 冷帯	853	46,655	54.7
3	モンゴル	アジア 乾燥帯	1,438	59,135	41.1
4	ベトナム	アジア 温帯	100	4,080	41.0
5	南アフリカ	アフリカ 温帯	3,009	115,516	38.4
6	レソト	アフリカ 温帯	362	12,626	34.9
7	モーリシャス	アフリカ 乾燥帯	2,444	82,230	33.6
8	ガイアナ	中央アメリカ 熱帯	545	16,324	30.0
9	ボツワナ	アフリカ 乾燥帯	2,969	88,395	29.8
10	ラオス	アジア 温帯	213	6,179	29.1

2.3.3 CIESIN 「GDP」 将来予測値と「GDP」実績値との比較

上記を踏まえ、世界全体の人口、経済に大きな影響を与えると思われる主要国の CIESIN 「GDP」 将来予測値と「GDP」実績値（1990 US\$ 換算）との経年的な推移を比較した。

<比較対象国>

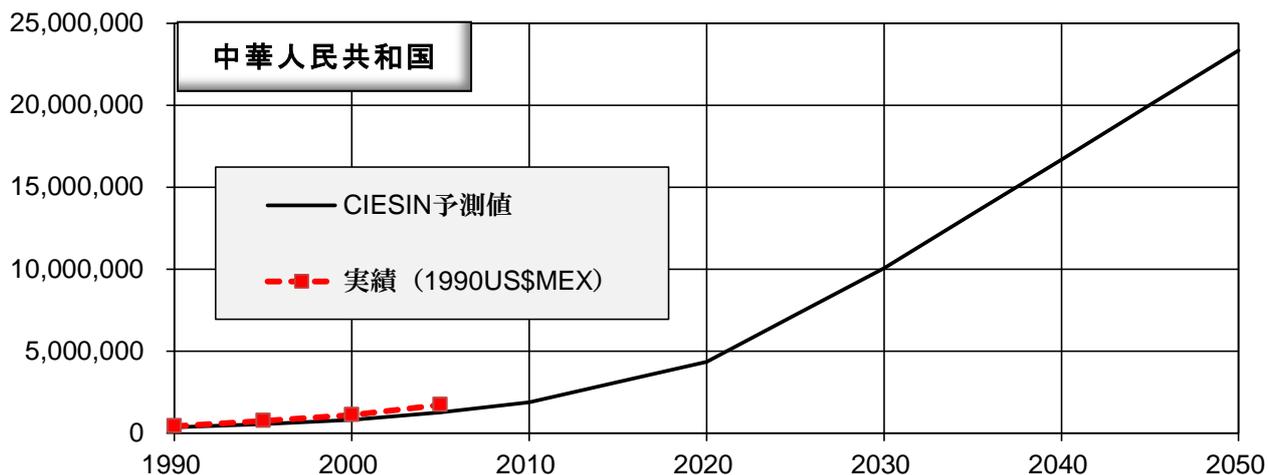
中華人民共和国、ロシア、アメリカ合衆国、日本

アメリカ合衆国が若干低めに、日本は逆にやや高めに予測されているが、ソビエト連邦崩壊後のロシアの経済低迷状況など他のいずれの国も将来予測値と実績値とはほとんど一致している。

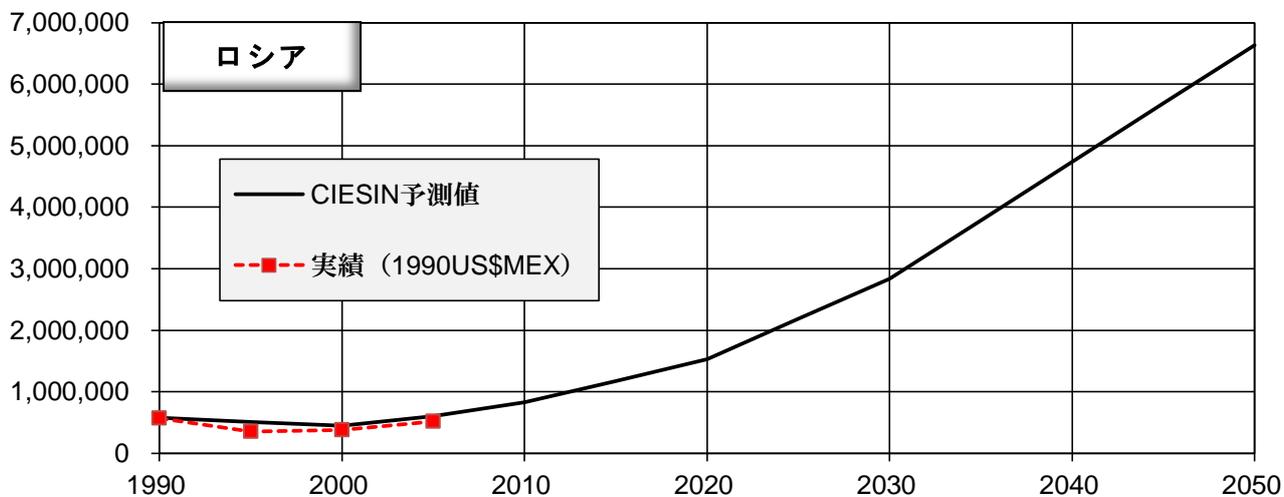
1990 年の日本は、バブル経済崩壊直前の絶頂期にあり、一方、1995 年以降は経済発展の低迷期であったが、2005 年の予測がやや高めであるものの、予測は実績をよく追隨しているといえる。

図 2.7 CIESIN「GDP」将来予測値と実績値(1990US\$MEX)との比較

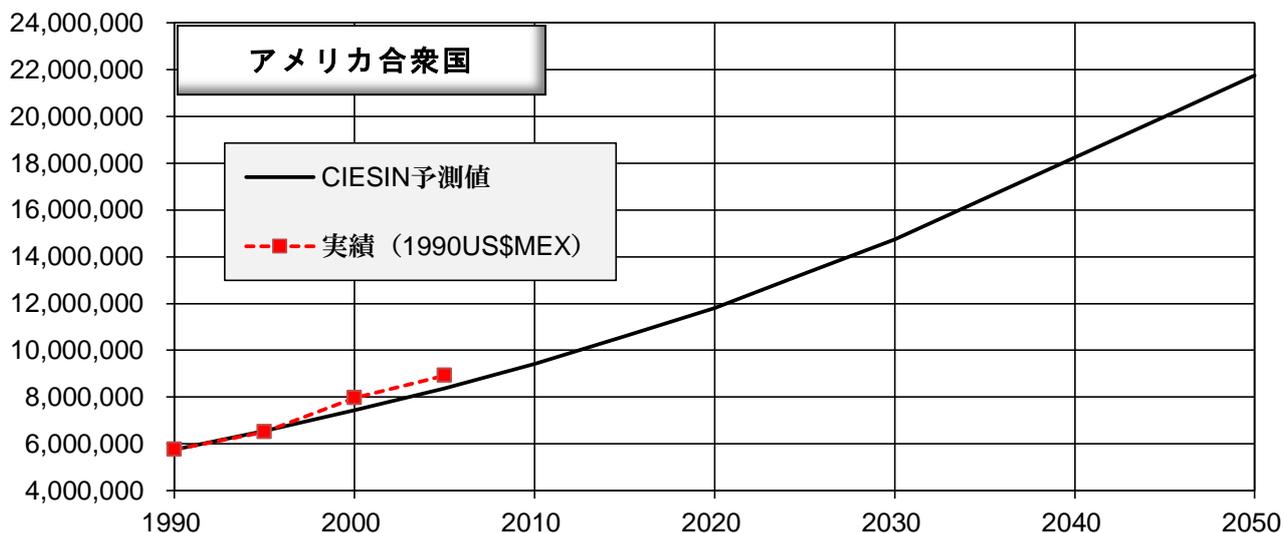
(百万ドル)



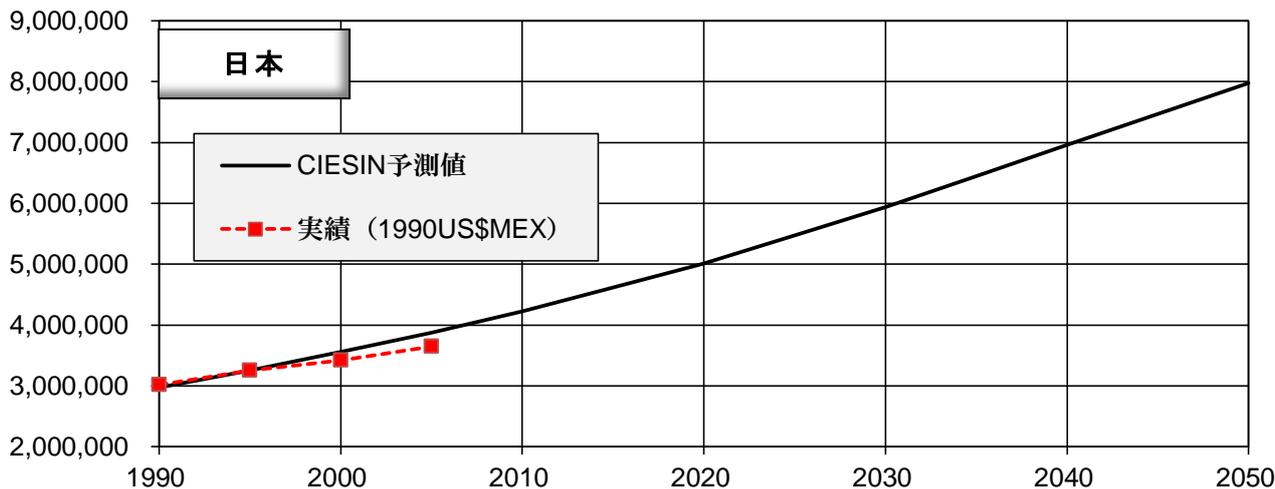
(百万ドル)



(百万ドル)



(百万ドル)



2.3.4 CIESIN「人口」将来予測値の概要

IPCCのA1シナリオは、世界中がさらに経済成長し、教育、技術等に大きな革新が生じる高度経済成長が続き、世界人口が21世紀半ばにピークに達した後に減少し、新技術や高効率化技術が急速に導入される未来社会を描いているが、中華人民共和国は、2030年ごろにピークを迎え、その後は減少に転じ、インドが世界第1位の人口大国となると予測されている。

図 2.8 世界全体のCIESIN「人口」将来予測値の推移

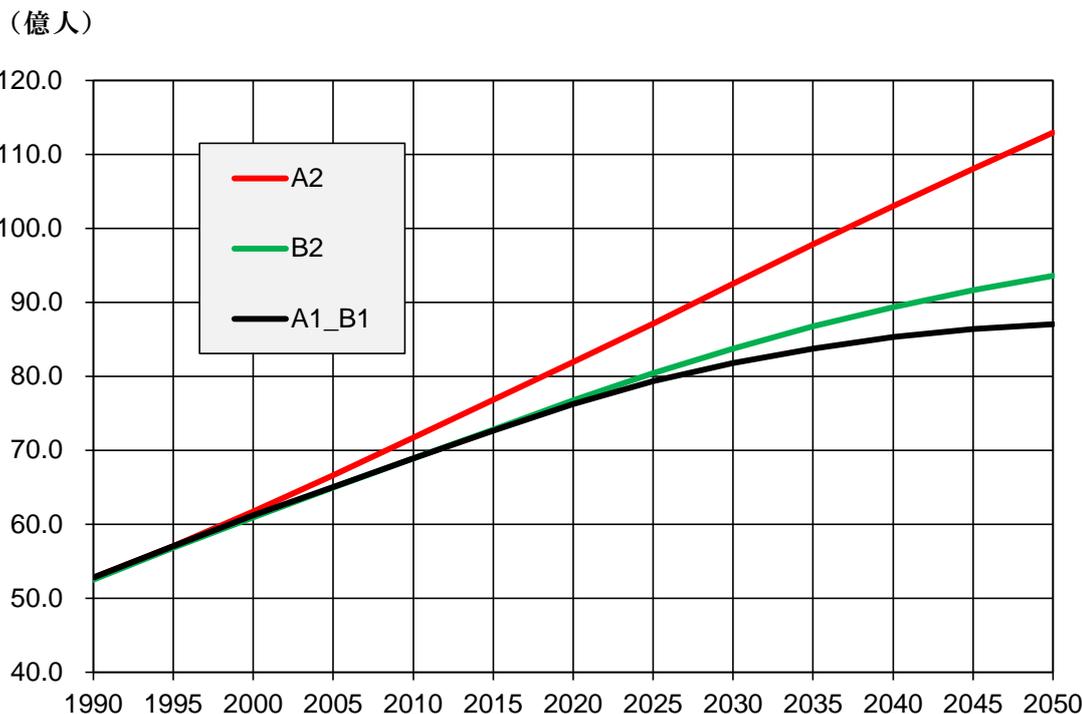


表 2.7 2050 年 CIESIN 「人口」 将来予測値 上位 10 か国

国名	地域区分・気候区分	1990 年(人)	2050 年(人)	倍率
インド	アジア 温帯	857,511,598	1,423,031,752	1.66
中華人民共和国	アジア 温帯	1,136,578,968	1,275,225,416	1.12
アメリカ合衆国	北アメリカ 温帯	254,355,851	382,579,031	1.50
パキスタン	アジア 乾燥帯	111,452,286	303,428,494	2.72
インドネシア	アジア 熱帯	192,736,059	296,913,989	1.54
ナイジェリア	アフリカ 熱帯	87,938,553	244,768,646	2.78
バングラデシュ	アジア 温帯	111,669,197	236,225,034	2.12
ブラジル	南アメリカ 熱帯	147,293,745	234,138,046	1.59
コンゴ民主共和国	アフリカ 熱帯	37,853,842	166,846,910	4.41
エチオピア	アフリカ 熱帯	48,606,513	153,392,214	3.16

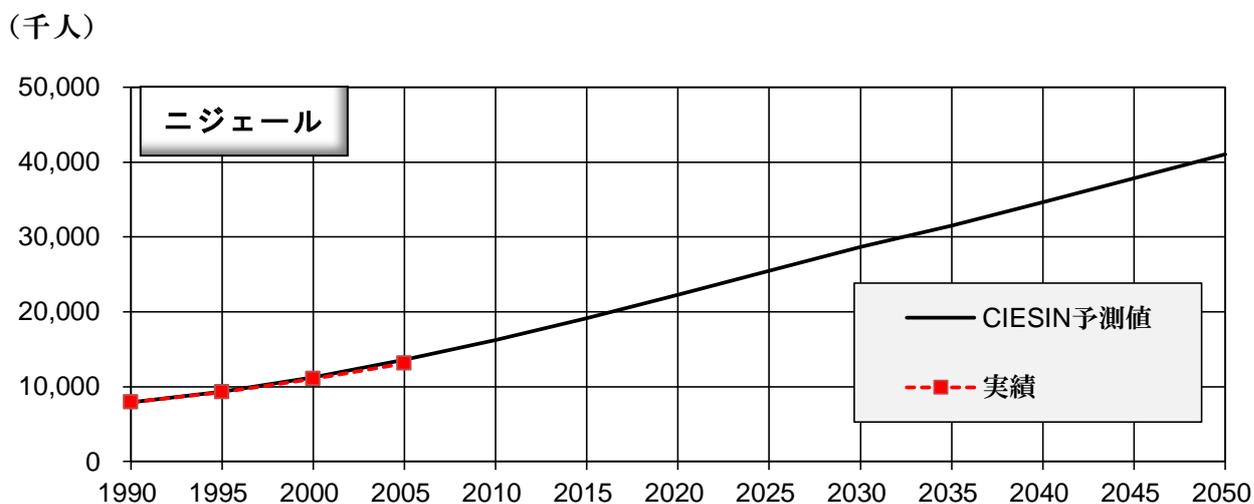
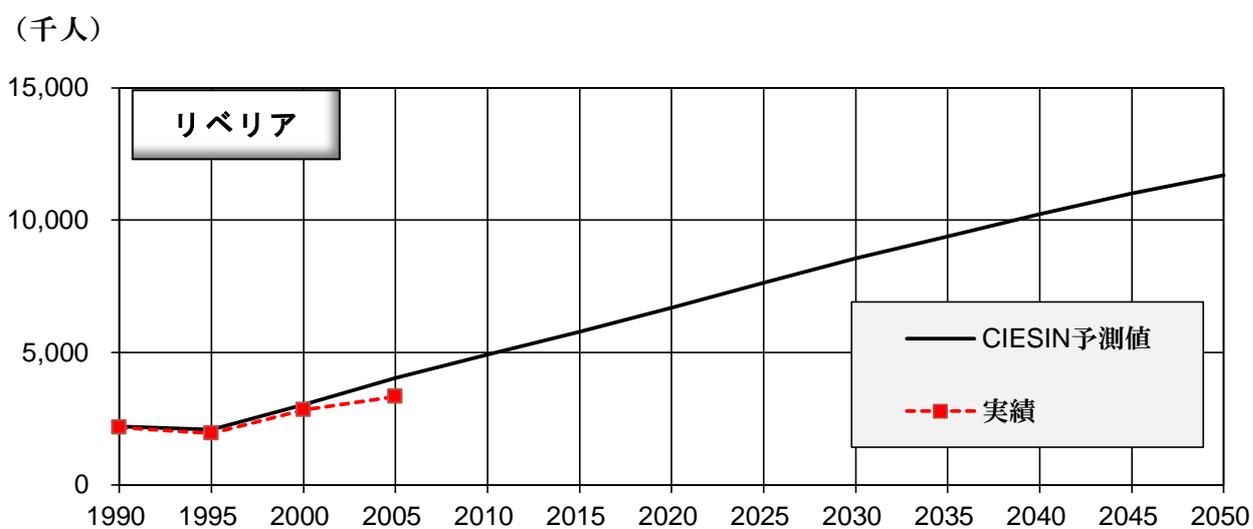
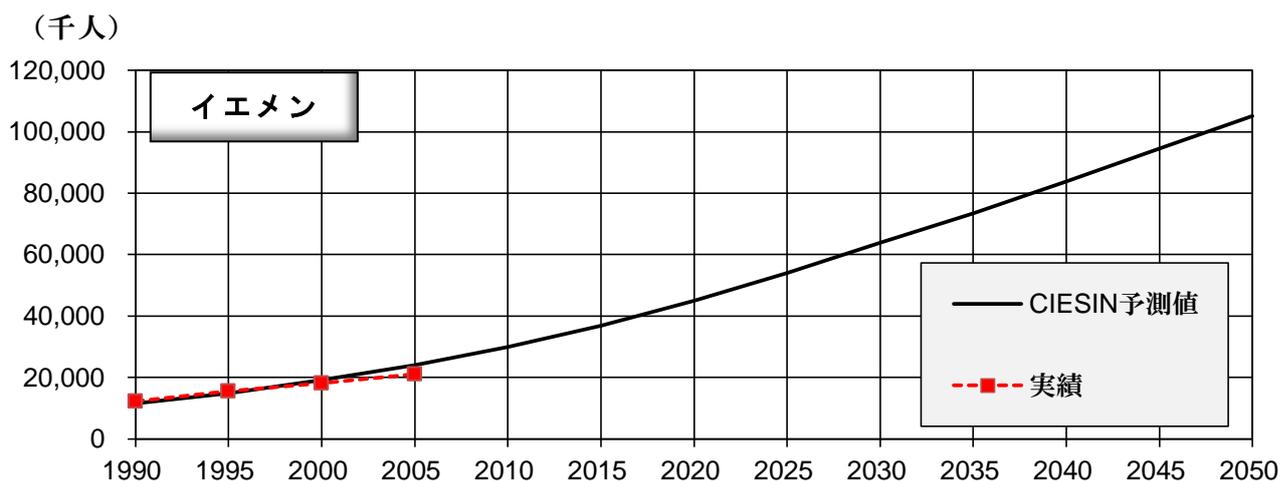
この「人口」将来予測によると、人口増加率の上位 3 か国と下位 3 か国は表 2.7 のとおりであるが、この 6 か国について、CIESIN 「人口」将来予測値と「人口」実績値との経年的な推移を比較した。

対象国のうち、リベリア以外は、予測値が実績値を追従しており、人口変動状況をよく表現できている。一方、リベリア、予測値が実績値より高めにする傾向があるが、これらの国は人口が 500 万人未満の小国（リベリア:344 万人）であり、世界の食料需給等に与える影響の度合いは極めて限定的である。

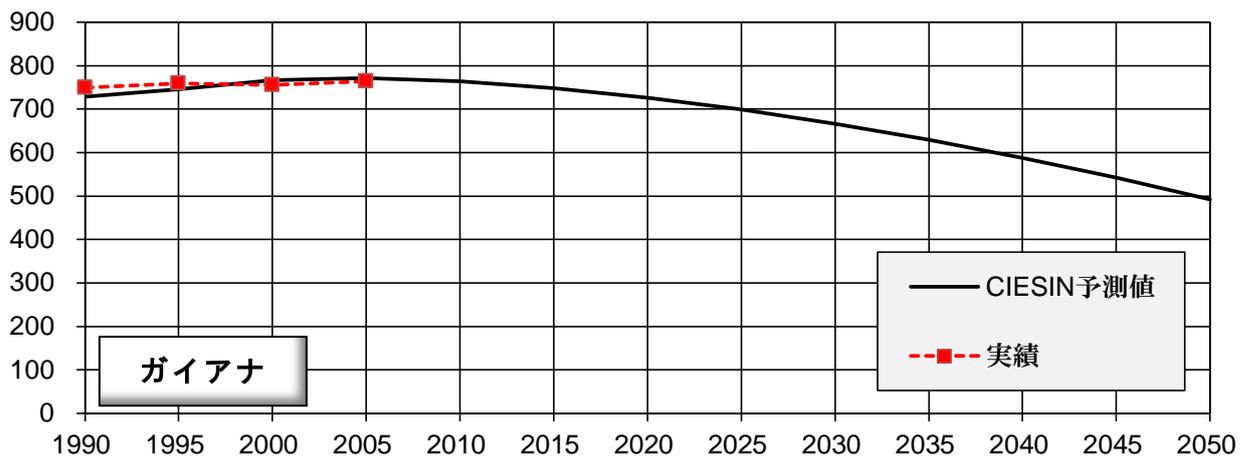
表 2.8 CIESIN 「人口」将来予測値増加率 上位 3 か国・下位 3 か国

	国名	地域区分・気候区分	1990 年(人)	2050 年(人)	倍率
上位 3 か国	イエメン	中近東 乾燥帯	11,620,738	105,134,862	9.05
	リベリア	アフリカ 熱帯	2,193,355	11,702,112	5.34
	ニジェール	アフリカ 乾燥帯	7,885,282	41,015,700	5.20
下位 3 か国	ガイアナ	南アメリカ 熱帯	728,213	492,529	0.68
	ブルガリア	東ヨーロッパ 温帯	8,728,647	5,235,949	0.60
	エストニア	東ヨーロッパ 冷帯	1,571,166	930,905	0.59

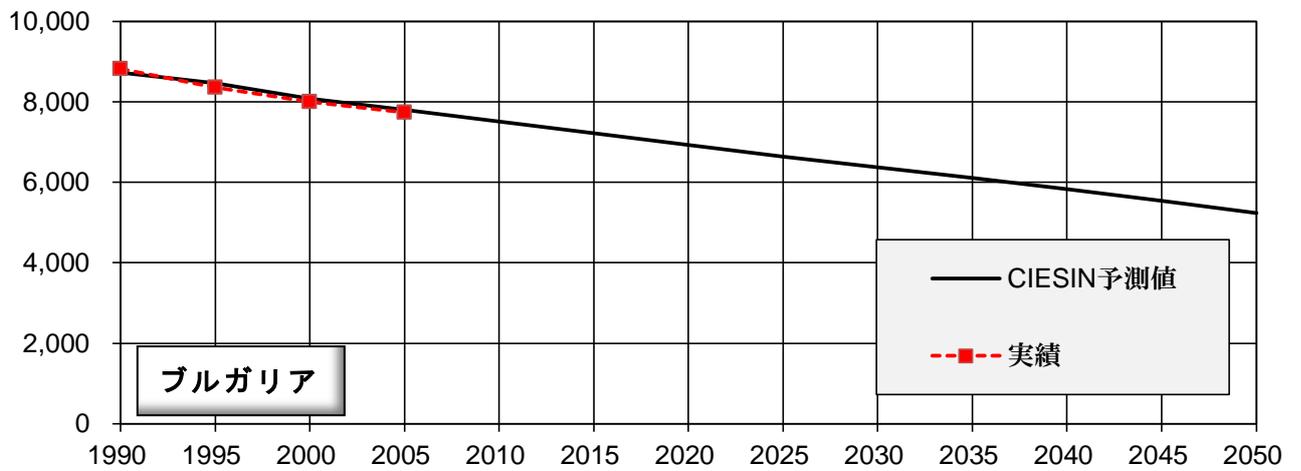
図 2.9 CIESIN「人口」将来予測値と実績値との比較



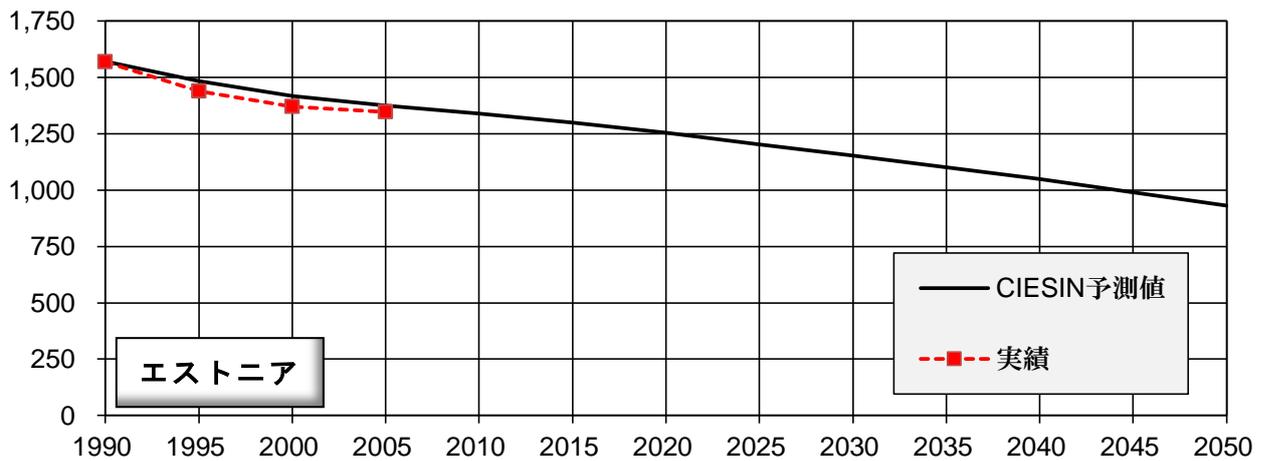
(千人)



(千人)



(千人)



第3章 主要農作物の将来生産量の推計

3.1 推計方法

3.1.1 基本的な考え方

農作物の生産量に影響を与える主要な要因としては、

- ①日照・気温・降雨量等の「自然条件」
- ②収穫量、病虫害への耐性、日照・気温・降雨量等自然条件への適合性に関連する事項としての「品種」
- ③「灌漑」の有無
- ④「施肥」の有無と量
- ⑤耕作形態（人力、機械化）

の5つが考えられるが、このうち主要な支配要因は、「自然条件」と「灌漑」の有無である。

もし、必要十分な「降水量」があり、「品種」・「施肥」等その他の条件が同じであれば、結果的に「灌漑農地」と「非灌漑農地」の単位面積当たりの収穫量（以下、『単収』と称する）は同じになるはずであるが、自然由来の降雨量（以下、『天水』と称する）のみで必要な時期に必要な量の農業用水を安定的に確保することが困難であるが故に、古来より「灌漑」が行われて来たわけである。

したがって、生産量を推計するためには、農地を「灌漑農地」と「非灌漑農地」に区分する必要がある。

生産量を P_t は、灌漑作付面積を AH_i 、灌漑農地単収を Y_i 、非灌漑作付面積を AH_n 、非灌漑農地単収を Y_n とすると、これらの関係は次の(4-1)式で表すことができる。

$$P_t = AH_i \times Y_i + AH_n \times Y_n \quad (4-1)$$

(4-1)式は、非常にシンプルなものではあるが、FAOSTAT 統計における「生産量」と「作付面積」は、「灌漑農地」と「非灌漑農地」に区分されておらず合計量のみが示されている。そして、「単収」は、一期作・二期作の考慮もなく、単純に「生産量」を「作付面積」で割った値である。さらに、AQUASTAT 統計における灌漑に関するデータは、中華人民共和国・インド等開発途上国又は農業国のみで、アメリカ合衆国や日本等先進国については掲載されていない。

したがって、統計値からは合理的な「灌漑農地単収」と「非灌漑農地単収」を設定することはできないことから、農作物の生産量と農業用水需要量を算出するためには、いくつかの仮定と多くの工夫を必要となる。

まずは、農作物の栽培に必要な用水量が100%満たされている状態の単収を『期待灌漑農地単収』(Y_0) という概念で定義し、「実際の生産量は農業用水の充足度のみで左右される」と仮定する。

ここで、灌漑農地及び非灌漑農地の「農業用水充足度」(以下、『灌漑用水ストレス』及び『天水ストレス』と称する)をそれぞれ $\alpha \cdot \beta$ 、FAO STATの収穫量を P_{FAO} 、作付面積を AH_{FAO} 、平均的単収を Y_{FAO} とすると、(4-1)式は(4-2)式のように表すことができる。

$$P_{FAO} = AH_{FAO} \times Y_{FAO} = AH_i \times Y_o \times \alpha + AH_n \times Y_o \times \beta \quad (4-2)$$

(ただし、 $\alpha, \beta \leq 1.0$)

3.1.2 灌漑用水ストレスと天水ストレス

農作物1トンを生産するために必要な農業用水量(以下、『穀物水消費原単位』と称する)を CW とすると、『期待灌漑農地単収』(Y_o)の収穫を得るために必要な「灌漑農地」と「非灌漑農地」の農業用水必要量は、次の(4-3)式、(4-4)式で得ることができる。

$$\text{灌漑農地農業用水必要量} = AH_i \times Y_o \times CW \quad (4-3)$$

$$\text{非灌漑農地農業用水必要量} = AH_n \times Y_o \times CW \quad (4-4)$$

式(4-2)で定義した「灌漑用水ストレス」 α と「天水ストレス」 β の分子は、実際に供給される灌漑用水供給量と降雨量及び蒸発散量から規定することができる。

降水量は、地表からの浸透によって地下水となる水量もあることから降水量の全量が農作物の生産に寄与するものではない。一方、蒸発散量は、地表だけでなく農作物の葉等からも時間をかけて徐々に蒸発する。したがって、蒸発散量のすべてが農作物の生産に寄与せず失われるわけでもない。

しかし、降雨量と蒸発散量の寄与の程度を合理的に算出することができなかつたので合理性に欠ける面もあるが次善の策として、本推計モデルでは、降水量の全量を有効量、蒸発散量の一部を無効な水量としてカウントすることとした。

水ストレス $\alpha \cdot \beta$ は次の(4-5)式及び(4-6)式のように表すことができる。

$$\alpha \text{ (灌漑用水ストレス)} = \frac{W_{IR} + W_{PRi} - (W_{EVi} \times \gamma)}{AH_i \times Y_o \times CW} \quad (4-5)$$

ただし、 W_{IR} : 灌漑期間内の灌漑農地への灌漑用水供給量
 W_{PRi} : 耕作期間に灌漑農地に降った天水量の総量
 W_{EVi} : 耕作期間の灌漑農地からの蒸発散量の総量
 γ : 係数(農作物の生産に寄与しなかつた比率)
 (γ の同定方法については、後述する)

$$\beta \text{ (天水ストレス)} = \frac{W_{PRn} - (W_{EVn} \times \gamma)}{AH_n \times Y_o \times CW} \quad (4-6)$$

ただし、 W_{PRn} : 耕作期間に非灌漑農地に降った天水量の総量
 W_{EVn} : 耕作期間の非灌漑農地からの蒸発散量の総量
 γ : 係数 (農業物の生産に寄与しなかった比率)

この (4-5)、(4-6) 式を (4-2) 式に代入すると、(4-7) 式となり、農作物の生産量を「農業用水」に関係する指標のみで算出することが可能となる。

$$P_{FAO} = \frac{W_{IR} + W_{PRi} - (W_{EVi} \times \gamma)}{CW} + \frac{W_{PRn} - (W_{EVn} \times \gamma)}{CW} \quad (4-7)$$

3.1.3 穀物水消費原単位と期待灌漑農地単収

日本は、降水量が多く灌漑設備が整備されていることを考慮すると、全作付農地は灌漑農地、かつ、灌漑水ストレス値はほぼ 1.0 以上と考えることができることから、「FAOSTAT 単収 = 灌漑農地単収 = 期待灌漑農地単収」と見なすことができる。

一方、各国の「穀物水消費原単位」に関するデータはほとんどない。品種や耕作形態が異なれば必要農業用水量は異なるはずであるが、次善の策として、「N 国の農作物の栽培に必要な農業用水量と生育期間と歩留り率が日本と同じである」と仮定すると、N 国の「期待灌漑農地単収」 ${}_N Y_o$ と「穀物水消費原単位」 ${}_N CW$ は次の (4-8) 式で表すことができる。

$${}_N CW = \frac{{}_{日本} CW \times {}_{日本} Y_o}{{}_N Y_o} \quad (4-8)$$

(4-8) 式を (4-7) 式代入すると、次の (4-9) 式ようになる。

$${}_N P_{FAO} = \left[\frac{W_{IR} + W_{PRi} - (W_{EVi} \times \gamma)}{{}_{日本} CW \times {}_{日本} Y_o} + \frac{W_{PRn} - (W_{EVn} \times \gamma)}{{}_{日本} CW \times {}_{日本} Y_o} \right] \times {}_N Y_o \quad (4-9)$$

この (4-9) 式から N 国の主要農作物生産実績に対応した「期待灌漑農地単収」を逆算することができる。

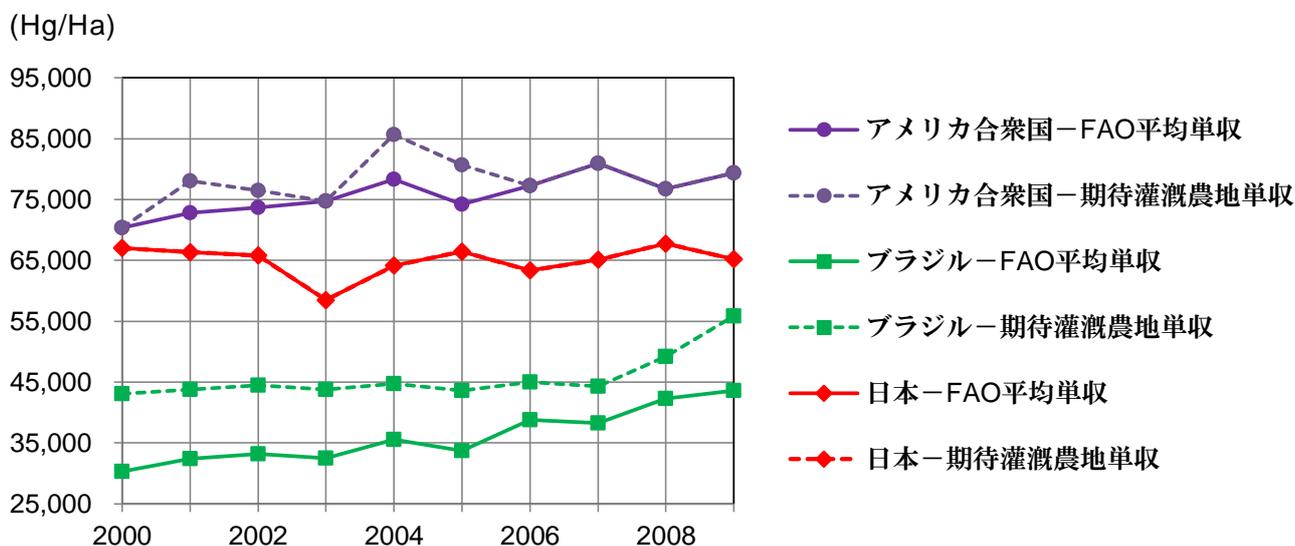
なお、日本の「穀物水消費原単位」は、東京大学生産研究所の沖大幹教授が提案している『米：3,600 m³/t、小麦：2,000 m³/t、トウモロコシ：1,900 m³/t、大豆 2,500 m³/t』を使用した。

(補足) 2000年～2009年の「FAO平均単収」と「期待灌漑農地単収」

AQUASTAT 統計の 2000 年実績値の灌漑用水供給量、及び、沖研究室が計算した「水資源賦存量」を補正した「天水量」と「蒸発散量」を使用して逆算した主要国の米（水田）の「期待灌漑農地単収」を以下に示す。

他の農作物を含む詳細については、巻末参照－1に記載したので参照されたい。

図 3.1 米(水田)の主要生産国の「FAO平均単収」と「期待灌漑農地単収」



1) 日本

- 耕作地の 100%が灌漑農地、かつ、2000年～2009年の「灌漑用水ストレス」が「1.0」なので「FAO平均単収」と「期待灌漑農地単収」が同じ値となっている。
- 単収は、2003年を除き、ほぼ同じ値で一定となっている。この傾向は、2010年以降も同様であった。

2) アメリカ合衆国

- 耕作地の 100%が灌漑農地であるが、2001年等は降雨量が少ないために「灌漑用水ストレス」が「0.9」未満になったことから、「FAO平均単収」と「期待灌漑農地単収」に差異が生じている。
- 「灌漑用水ストレス」の「0.9」の意味については、「4.1.7」で後述する。

3) ブラジル

- ブラジルの平均単収の増加傾向は、灌漑農地面積の比率が増加していることによるものである。
- この灌漑農地の「灌漑用水ストレス」は「1.0」であるが、非灌漑農地が相当数あるために「FAO平均単収」と「期待灌漑農地単収」に差異が生じている。

3.1.4 灌漑用水供給量

AQUASTAT 統計データには、発展途上国等について表 3.1 のように灌漑用水の供給期間及び灌漑用水供給比率が示されている。

表 3.1 AQUASTAT 統計データの例
Irrigation cropping patterns in the year 2000

BANGLADESH	Irrigated area (1000 ha)	Crop area as percentage of the total area equipped for irrigation by month											
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Rice-one	5671							76	76	76	76	76	
Rice-two	5671	76	76	76	76								76
All irrigated crops		96	96	96	96	5	5	80	80	80	80	80	96

All irrigated crops 合計 890

この給水比率を使用して国別・主要穀物別の「灌漑用水供給量」を算出した。バングラデシュの例では次のとおりとなる。

Rice-one 給水量 = 年間灌漑用水供給量 × 80 / 890 × 76 / 80 × 5 か月

Rice-two 給水量 = 年間灌漑用水供給量 × 96 / 890 × 76 / 96 × 5 か月

ただし、2000年～2009年の収穫量の実績値を考慮して若干の調整を行った（表 3.2）。

表 3.2 主要国の農作物別灌漑用水供給量比率の例

国名	米(水田)	小麦	トウモロコシ	大豆	その他	合計
日本	350	10	1	5	164	530
中華人民共和国	1,300	1,215	15	15	41	2,586
バングラデシュ	760	75	5	0	50	890
インド	1,930	860	20	5	74	2,889
アメリカ合衆国	70	200	200	167	0	637
ブラジル	350	45	230	5	11	641

なお、実際の二期作は、前年に田植えをして収穫は翌年となるが、計算モデルでは同じ年に田植えから収穫までを行うように取り扱った。さらに、日本、アメリカ合衆国等の先進国には、表 3.1 に示されるパターンが掲載されていないので同じ気候帯に属する国を参考に設定した。

3.1.5 天水量

本研究で使用している「水資源賦存量」には「A1B」シナリオに即して算出された1990年～2050年の世界各国別の「月別降水量」、「月別蒸発散量」が与えられているので、表3.1の耕作期間に対応した「月別降水量」と「月別蒸発散量」から灌漑農地及び非灌漑農地の「降水量」と「蒸発散量」をカウントすることができる。

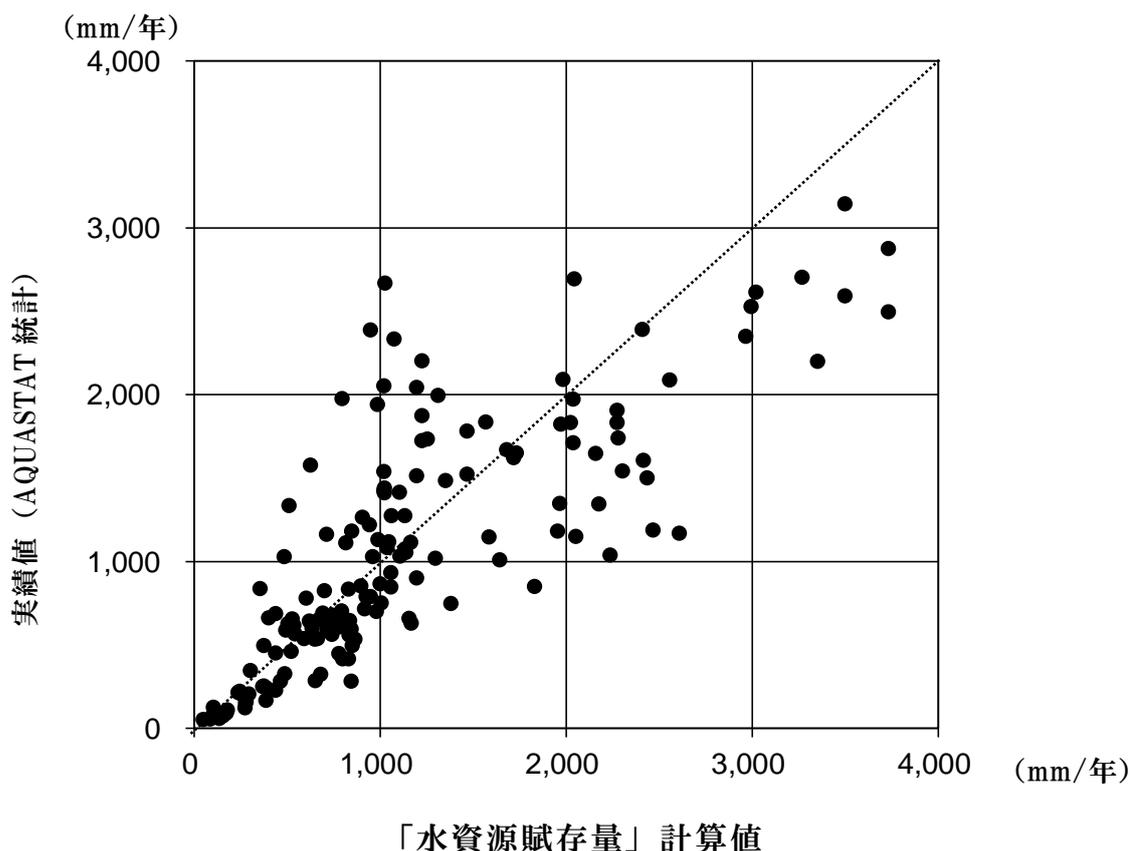
これにより算出した将来の α と β の値は、気候変動による降水量の変化量を反映したものとなっている。

なお、「水資源賦存量」計算データの「年間降水量」とAQUASTAT統計による実績の年間降水量についての1990年～2000年の平均値の比較を行い、実績と合うように補正した(図3.2)。

ただし、「水資源賦存量」計算データは、一つの国全体の総和の値となっていることから、例えばロシアや中華人民共和国のように国土面積が大きく気候条件が大きく異なる地域から構成される国の数値を耕作地に適用することは不適當であると考え、耕作地に相当すると考えられる地域の実績年間降水量に合うように値を補正した。

加えて、AQUASTAT統計の中華人民共和国の灌漑パターンは、東北部、西部、南東部の3地域に区分されているが、降雨パターンの違いを考慮して、南東部には隣接するベトナムの降雨パターンを適用した。

図3.2 年間降水量(1990年～2000年平均値)の相関図



(補足) 中華人民共和国、インド、インドネシアの生産地域区分

この3か国に関する AQUASTAT 統計データの耕作期間は、以下のような複数の地域に分けて示されていたことから、この複数の地域ごとに計算した。

表 3.3 中華人民共和国、インド、インドネシアの生産地域区分
Irrigation cropping patterns in the year 2000

	Irrigated area (1000 ha)	Crop area as percentage of the total area equipped for irrigation by month											
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
CHINA (North-east)													
Rice	6317					27	27	27	27	27			
CHINA (West)													
Rice	3553					56	56	56	56	56			
CHINA (South-east)													
Rice-one	29612						64	64	64	64	64		
Rice-two		64	64	64								64	64
INDIA, EAST (Arunachal Pradesh, Assam, Bihar, Orissa, West Bengal, Manipur, Meghalaya, Mizoram, Nagaland, Sikkim, Tripura)													
Rice-one	6129						34	34	34	34	34		
Rice-two		34	34	34								34	34
INDIA, NORTH (Haryana, Himachal Pradesh, Jammu & Kashmir, Punjab, Uttar Pradesh, Chandigarh, Delhi)													
Rice-one	6786						21	21	21	21	21		
Rice-two		21	21	21								21	21
INDIA, SOUTH (Andra Pradesh, Karnataka, Kerala, Tamil Nadu, Pondicherry)													
Rice-one	7004							35	35	35	35	35	
Rice-two		35	35	35	35								35
INDIA, WEST (Gujarat, Madhya Pradesh, Maharashtra, Rajasthan, Goa, Daman & Diu, D & N Haveli)													
Rice	1970							13	13	13	13	13	
INDONESIA (Java)													
Rice-one	3578	89	89	89	89								89
Rice-two								73	73	73	73	73	
INDONESIA (whole country except Java)													
Rice	1927	87	87	87	87								87

3.1.6 係数「 γ 」

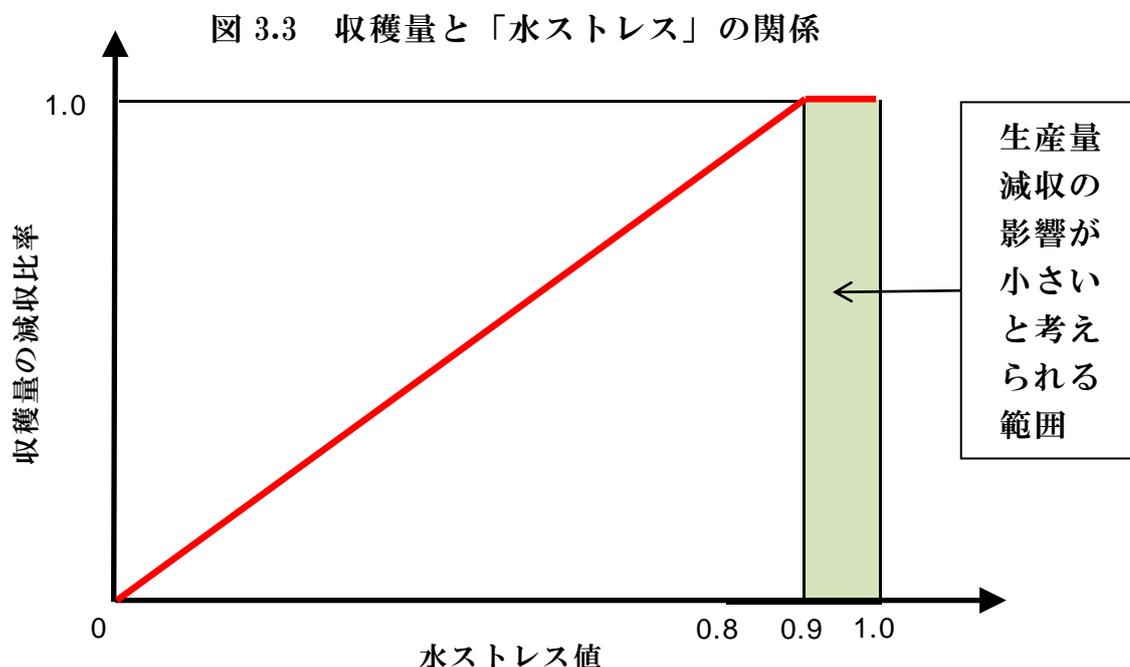
(4-5)式と(4-6)式に示した係数 γ は、本来であれば気候帯別・作物品種別の異なる値となることが想定されるが、合理的に決定するデータがないことから次善の策として、①世界最大の農産物生産国であること、②灌漑施設が整っており、全作付農地は灌漑農地で、かつ、灌漑水ストレス値は少なくとも0.9程度であると考えられること、③2000年の年間降水量が約920mmで166か国中84位と中位にあることを考慮して、2000年～2009年のアメリカ合衆国の灌漑水ストレス値がほぼ0.9となるように逆算して設定した(表3.4)。

表 3.4 逆算した γ の値とアメリカ合衆国の平均灌漑水ストレス

	逆算した γ 値	平均灌漑水ストレス
米(水田)	0.00	0.893
小麦	0.05	0.886
トウモロコシ	0.40	0.890
大豆	0.30	0.881

3.1.7 水ストレスによる生産量の減収効果

農業用水が不足すると収穫量が減収することが知られている。日本における渇水調整の例では農業用水を一時期20%取水制限したとしても生産量の減収への影響は小さいことが知られていることから、農作物の収穫量と「水ストレス」との関係を図3.3のように設定した。



3.1.8 主要農作物の将来生産量の推計方法のまとめ

「期待灌漑農地単収」は、FAOSTAT 統計に示されている実績の作付面積や生産量と「灌漑水ストレス」・「天水水ストレス」から(4-9)式から求めることができる。この「期待灌漑農地単収」は、水資源賦存量の計算値や係数 γ などによる実際との差異などを反映したうえで FAOSTAT 統計に示された生産量と適合するように逆算した値となっている。

しかし、将来の「生産量」を算出するために使用する「期待灌漑農地単収」は、将来の「生産量」から逆算しなければならぬという矛盾に直面することになる。すなわち、将来の「期待灌漑農地単収」を決定できないという問題がある。

そこで、将来の生産量の推計計算に使用する「将来期待灌漑農地単収」 FY_0 は、2000年の灌漑給水量をベースに FAOSTAT 統計値と適合するように計算した2000年～2009年の値の平均値を用いることとした。

ただし、実績の平均単収が明らかに増加傾向を示している国があることから、このような国の「将来期待灌漑農地単収」 FY_0 は、将来の平均単収をトレンド傾向から推計した平均単収の2000年～2009年の平均値との比率で増加させた。

将来の生産量の推計計算に使用する「将来期待灌漑農地単収」 FY_0 は、次の(4-10)式のようになる。

$$FY_0 = {}_{2000-2009Ave} Y_0 \times \frac{\text{将来平均単収推計値}}{\text{平均単収の2000-2009平均値}} \quad (4-10)$$

したがって、将来の生産量 FP は、(4-9)式と(4-10)式から次の(4-11)式のように表すことができる。

$${}_N P_{FAO} = \left[\frac{W_{IR} + W_{PRi} - (W_{EVi} \times \gamma)}{{}_{日本} CW \times {}_{日本} FY_0} + \frac{W_{PRn} - (W_{EVn} \times \gamma)}{{}_{日本} CW \times {}_{日本} FY_0} \right] \times {}_N FY_0 \quad (4-11)$$

灌漑農地と非灌漑農地の天水量は、別途推計した将来の農地面積を用いて、「4.1.5」で説明したようにして算出する。

この(4-11)式は、作付面積の将来推計値、気候変動による降雨量と蒸発散量の影響、灌漑用水の増減による効果を将来生産量の計算に反映できる推計式となっている。

3.2 灌漑面積と非灌漑面積の将来推計

3.2.1 将来推計方法の基本的な考え方

主要農作物の作付面積と関係があると思われる指標は、

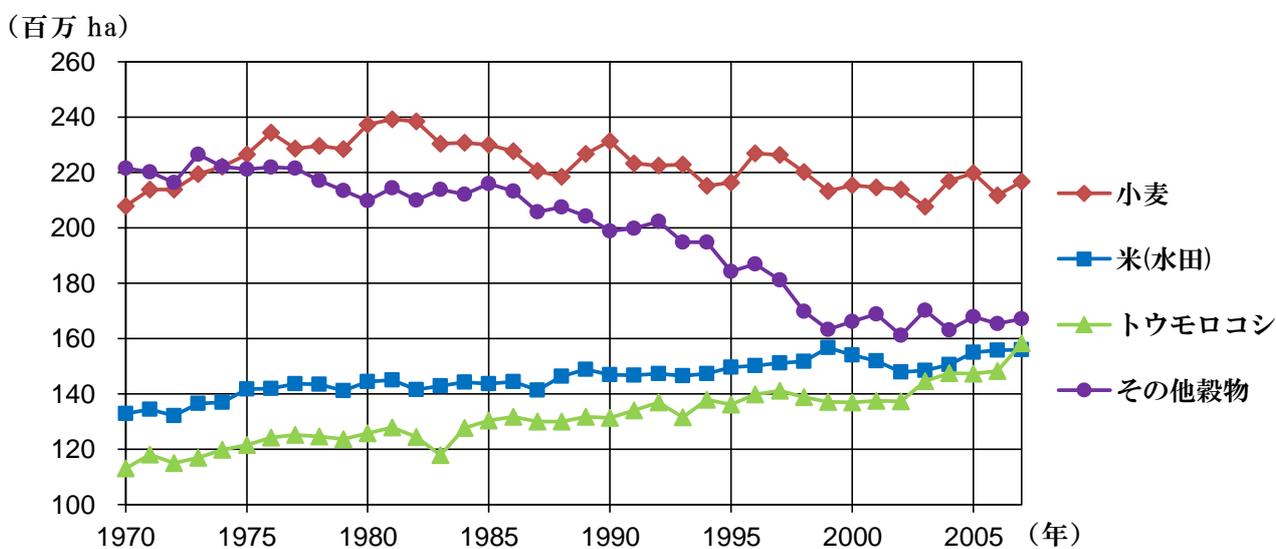
- ①「消費量」
- ②「人口」
- ③「GDP（1990年US\$換算）」
- ④「国際取引相場価格」

の4指標が考えられる。

このうち、「国際取引相場価格」については、農業経済分野において世界農産物需給予測モデル「IFPSIM（International Food Policy Simulation Model）のように国際的な取引価格と連動した推計モデルが提案されているが、将来的には、人口増加と一人当たりGDPの向上に対応して需要が大きく増加するために、慢性的な供給量不足の状態が長期にわたり続くことから作付面積が非現実な値になってしまう結果となった。そのため、「国際取引相場価格」を反映した予測モデルを使用した長期予測の信頼性・妥当性には疑問があるので割愛し、前者3つの指標との関係を分析した。

分析結果としては、日本、アメリカ合衆国、中国、インド等の主要国では、この3つ指標と作付面積との間には、明確な相関関係を見いだせなかった。加えて、FAOSTAT統計によると、1970年から主要農作物4品目の作付面積は、トウモロコシは増加、他は微減ないしは横ばいとなっている（図3.4）ことも考慮し、将来農地面積は2000年～2009年の傾向から算出することとした。

図3.4 農作物品目別の作付面積の推移（1970年～2007年）



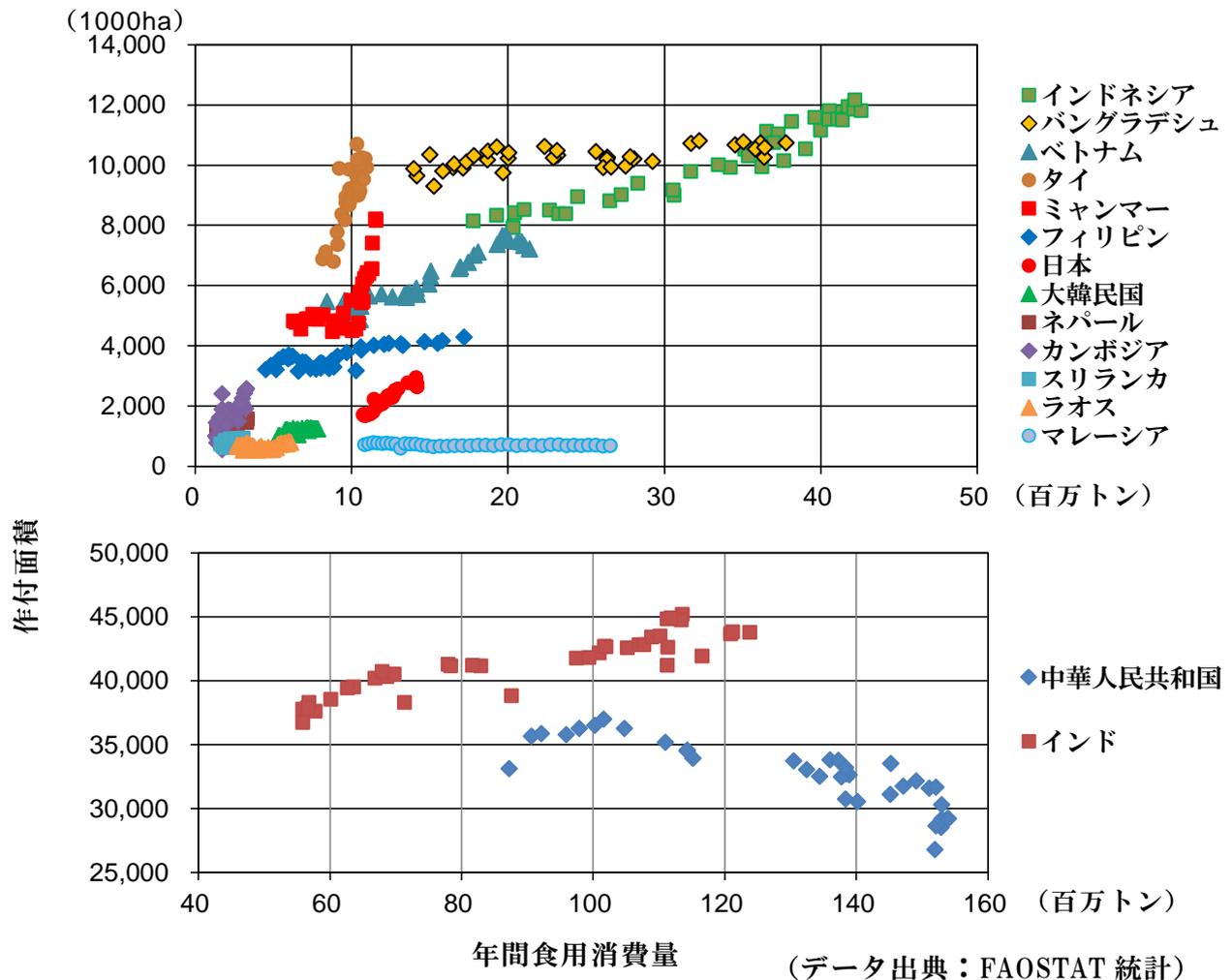
（データ出典：FAOSTAT 統計）

3.2.2 米（水田）の作付面積

(1) 米を主食とするアジア諸国

- ・ 中華人民共和国、タイ、ミャンマー、カンボジアの4か国を除く他の国々は、「作付面積」と「年間食用消費量」との間に直線的な相関関係が認められた（図 3.5）。「人口」との間にも同様の関係が認められたが、「年間食用消費量」と「人口」との間に相関関係があるからと解釈できる。
- ・ しかし、バングラディッシュ、フィリピン、マレーシアのように「年間食用消費量」が増加しても「作付面積」がほぼ横ばいの国があることから、この相関関係で将来の「作付面積」を推計することが適当ではないと考えられる。
- ・ したがって、将来の「作付面積」は、2000年～2010年の値を用いて、この傾向のトレンドから算定した。

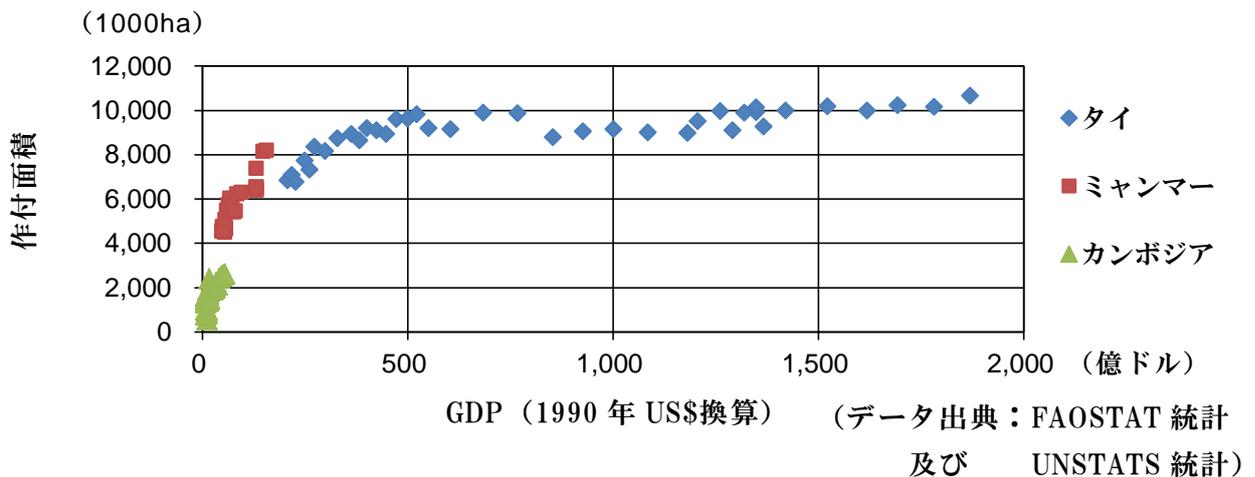
図 3.5 米を主食とするアジア諸国の「作付面積」と「食用消費量」との関係（1970年～2007年）



(2) タイ、ミャンマー、カンボジア

- ・ タイは、米の輸出量が多く、外貨獲得を念頭に米作が行われている。
- ・ ミャンマーとカンボジアは、国内需要量の増大に対応して増産を図っていると推察される。
- ・ 「GDP (1990年US\$換算)」との関係を見たところ、3か国ともに一定傾向の相関関係が認められた(図3.6)が、タイは「GDP (1990年US\$換算)」が増加しても「作付面積」はほぼ横ばいとなっており、この相関関係で将来の「作付面積」を推計することが適当ではないと考えられる。
- ・ したがって、将来の「作付面積」は、2000年～2008年の値を用いて、この傾向のトレンドから算定した。

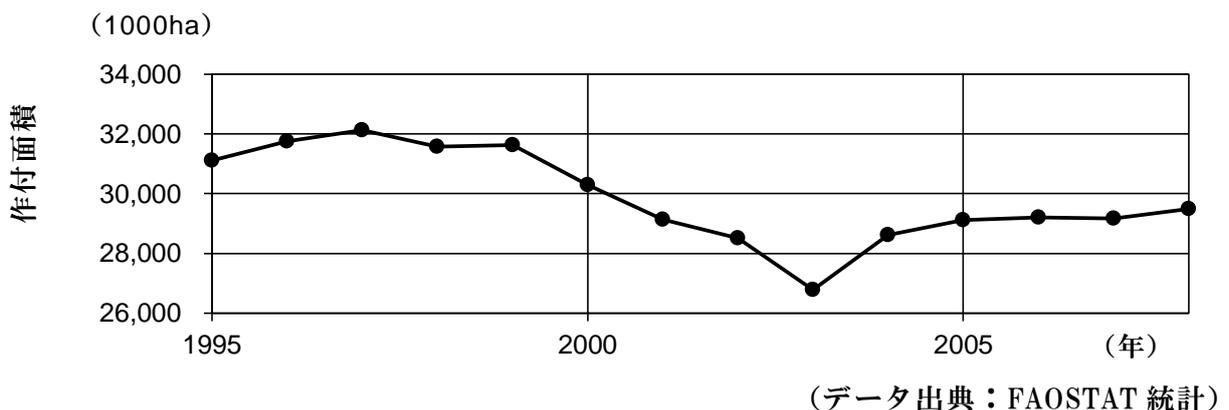
図 3.6 「作付面積」と「GDP (1990年US\$換算)」と関係 (1970年～2007年)



(3) 中華人民共和国

- ・ 中華人民共和国は、GDP との関係が認められず、減少傾向となっていたが、政策的なものか近年微増傾向に転じている(図3.7)。
- ・ 将来推計値は、2008年以降人口ピークとなる2025年までは2005年以降のトレンドを延長し、その後は一人当たりの消費量が減少していることを考慮して人口減少率による漸減とした。

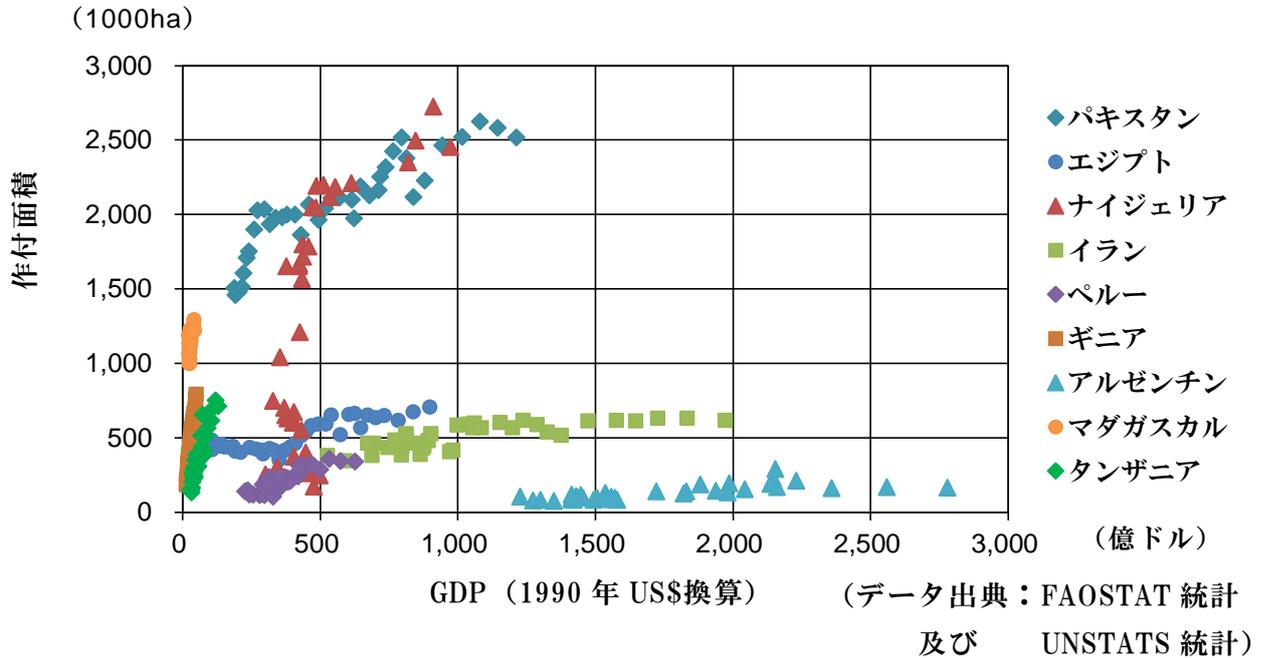
図 3.7 中華人民共和国の「作付面積」の経年推移



(4) 米を主食としていない国々

- 「作付面積」が比較的大きい国々では、「GDP (1990年US\$換算)」との一定傾向の相関関係が認められる国もある(図3.8)が、タイと同様の理由から、将来の「作付面積」は、2000年~2009年の値を用いて、この傾向のトレンドから算定した。

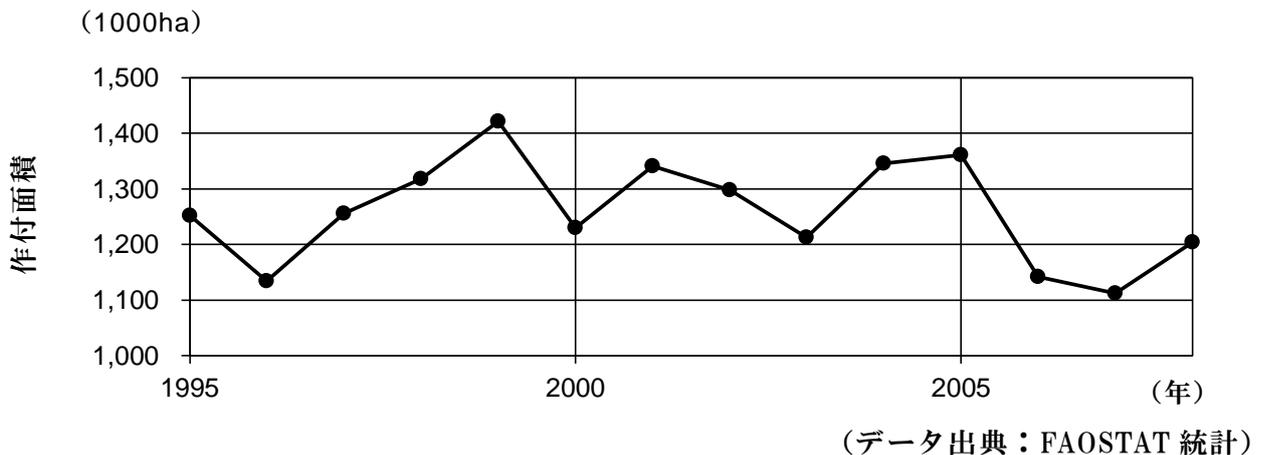
図3.8 米を主食としていない国々の「作付面積」と「GDP (1990年US\$換算)」との関係 (1970年~2007年)



(5) アメリカ合衆国

- アメリカ合衆国は、上記の指標とは関係が認められず、一定幅の間で上下の推移を示している(図3.9)。
- 将来作付面積は、1400 (1000ha) で一定値とした。

図3.9 アメリカ合衆国の「作付面積」の経年推移



3.2.3 米（水田）の灌漑面積と変動量の取り扱い

1) 灌漑面積

- ① AQUASTAT 統計に灌漑面積が示されている国は、その値を採用した。
- ② 統計値が示されていない国のうち、「先進国」と経済力のある「産油国」、灌漑設備が整っていると考えられることから、作付面積の全体を灌漑面積とした。
- ③ それ以外の「経済発展国」「農業国」は、FAOSTAT 統計値を参考に 2000 年の作付面積に対する灌漑農地の比率を 50% と設定した。

表 3.5 2000 年 米(水田)生産量 上位 15 か国の灌漑面積
(データ出典：AQUASTAT 統計)

国名	全灌漑面積		2000 年 米作付面積	2000 年 米灌漑面積	灌漑率 %
	年	1000ha	1000ha	1000ha	
中華人民共和国	2006	62,559	30,232.6	30,232.6	100.0
インド	2001	61,908	44,150.1	21,889.0	49.6
インドネシア	1996	※1) 8,269	11,701.5	5,505.0	47.0
バングラデシュ	2008	※1) 6,595	10,613.2	5,671.0	53.4
ベトナム	1994	3,000	7,535.9	4,500.0	59.7
タイ	2007	6,415	9,897.2	4,531.0	45.8
ミャンマー	2000	1,841	6,153.1	1,600.0	26.0
フィリピン	2006	1,879	4,038.1	1,810.0	44.8
日本	1993	3,128	1,750.6	※2) 1,750.6	※2) 100.0
ブラジル	1998	2,870	3,363.9	1,134.0	33.7
アメリカ合衆国	2000	25,023	1,300.0	※2) 1,300.0	※2) 100.0
パキスタン	2008	19,270	2,331.0	722.8	31.0
大韓民国	1996	889	1,066.3	889.0	83.4
エジプト	2000	3422	609.1	607.0	99.7
ネパール	2002	1,168	1,537.4	487.0	31.7

※1) Total agricultural water managed area、 ※2) 「単収」の値等から推定

2) 灌漑面積の変動量の取り扱い

作付面積と灌漑面積の変動量は、以下のように取り扱った。

- ① 経済力がある「先進国」と「産油国」は、作付面積の増減量は、「灌漑面積」から加算・削減した。
- ② 「経済発展国」は、作付面積の増加量は「灌漑面積」に加算し、減少量は「非灌漑面積」から差し引いた。ただし、「非灌漑面積」がゼロになれば、「灌漑面積」から差し引いた。

- ③ 経済力の小さい「農業国」は、作付面積の増加量は2000年の「灌漑面積」と「非灌漑面積」の比率で按分した。減少量は「非灌漑面積」から差し引いた。ただし、「非灌漑面積」がゼロになれば、「灌漑面積」から差し引いた。

3.2.4 米（水田）の灌漑面積・非灌漑面積、作付面積の推計結果

- ① 「灌漑面積」は、インドやインドネシアが微増となっていることを受けて、世界全体としても微増となっている。
- ② 2025年から2050年では、「灌漑面積」が減少している。これは、中華人民共和国の「灌漑面積」を2025年以降は人口減少に対応して減少するように設定したことによるものである。
- ③ 「非灌漑面積」は、バングラデシュ、ベトナム、ミャンマー等の農業国が微増となっていることを受けて世界全体としても微増となったものである。

図 3.10 米（水田）の「灌漑面積・非灌漑面積」の推計結果（世界合計）

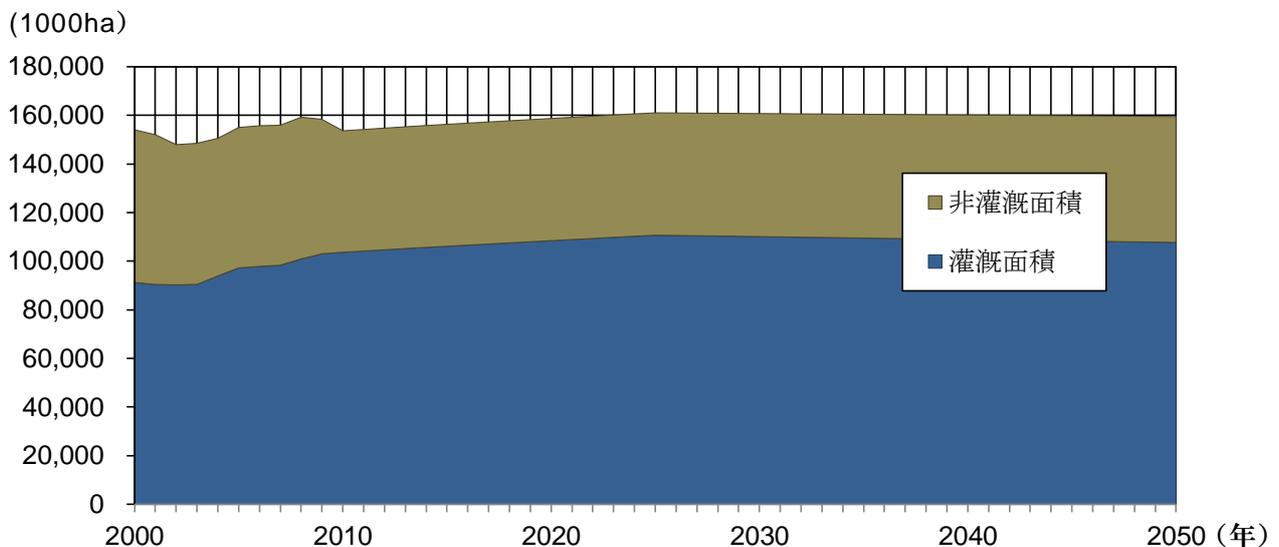


表 3.6 米（水田）の対2010年の面積比率（世界合計及び主要国）

	世界合計		中華人民共和国		インド		インドネシア	
	2025	2050	2025	2050	2025	2050	2025	2050
灌漑面積	1.07	1.04	1.05	0.80	1.12	1.31	1.20	1.24
非灌漑面積	1.01	1.04	---	---	1.00	1.00	1.00	1.00
作付面積	1.05	1.04	1.05	0.80	1.08	1.22	1.11	1.13

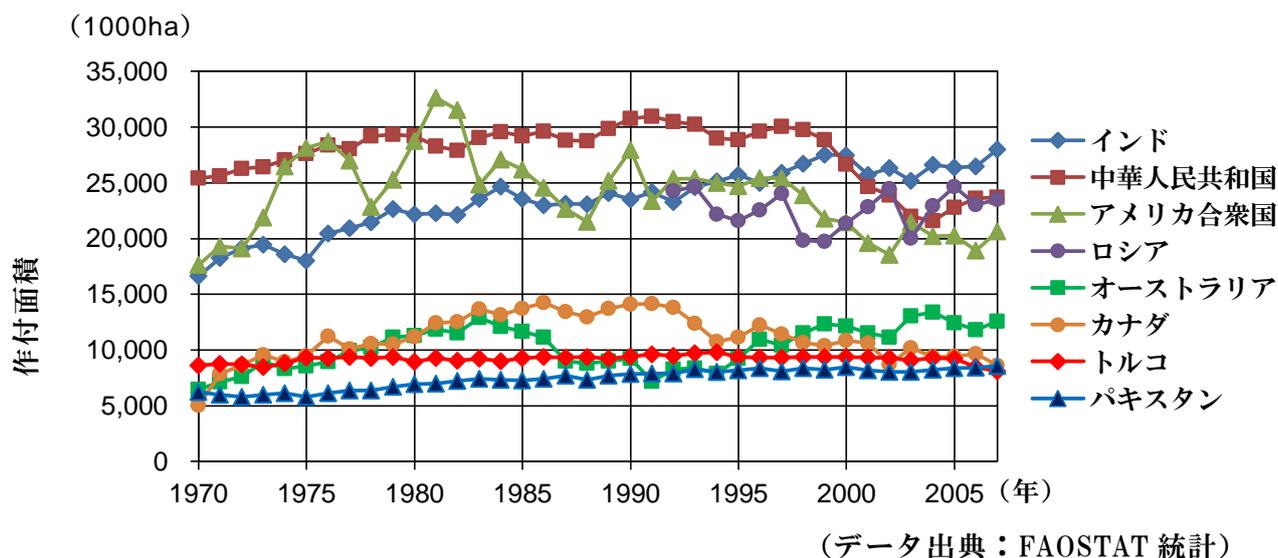
3.2.5 小麦の作付面積

図 3.4 の品目別の作付面積の推移を見るに、増加と減少の幅がやや大きかったので、まずは作付面積の大きい国についての経年的な推移を見たが、変動量の大きい国が多い（図 3.11）。

これらの国について、米（水田）と同様に、「小麦の消費量」「人口」「GDP（1990年 US\$換算）」の3つの指標との関係を分析したが、明確な相関関係はなかった。

したがって、小麦の「作付面積」の将来推計は、2000年から2009年の傾向のトレンドから算出することとした。

図 3.11 小麦「作付面積」上位国の経年推移



3.2.6 小麦の灌漑面積と変動量の取り扱い

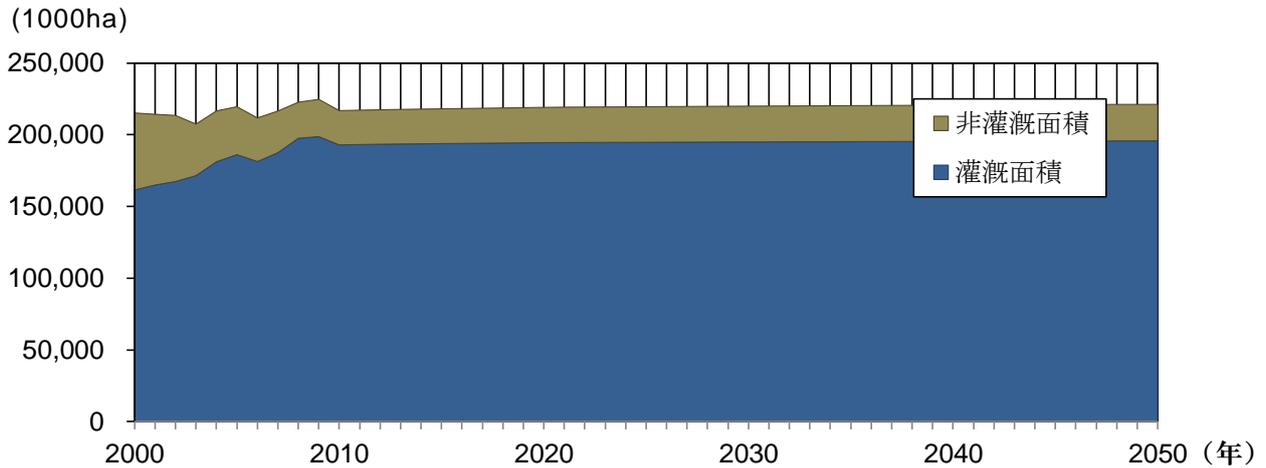
米（水田）と同様の取り扱いとした。

3.2.7 小麦の灌漑面積・非灌漑面積、作付面積の推計結果

小麦の「作付面積」との推計結果は、ほぼ横ばい（2025/2010 = 1.01 倍、2050/2010 = 1.02 倍）となった。

これは、2007年～2009年の傾向として、ほとんどの国が横ばい、ないしは、減少となっていること、需要の大きいトウモロコシにシフトしていると考えられること等から、中華人民共和国、インド、アメリカ合衆国等の主要生産国の増減量をゼロと設定したことによる。

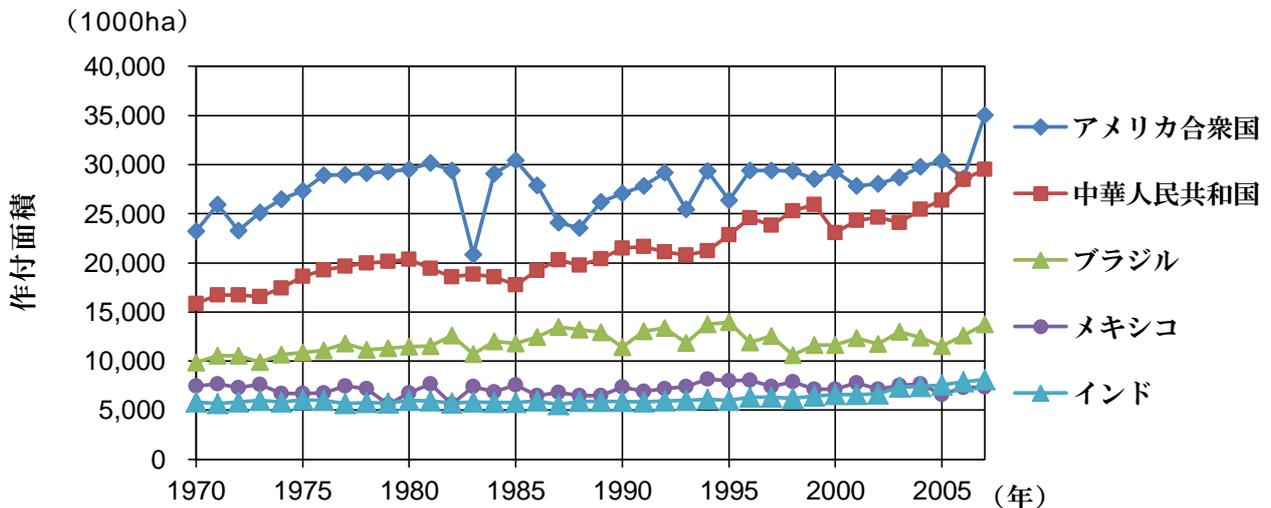
図 3.12 小麦の「灌漑面積・非灌漑面積」の推計結果（世界合計）



3.2.8 トウモロコシの作付面積

「作付面積」の経年推移を見ると、他国に比べてアメリカ合衆国と中華人民共和国の増加傾向が顕著である（図 3.13）。

図 3.13 トウモロコシ「作付面積」上位国の経年推移



（データ出典：FAOSTAT 統計）

- アメリカ合衆国の 2007 年の急増は、2006 年からトウモロコシを原料とするバイオ燃料の生産を開始したが、この影響が反映されていると考えられる。
- 中華人民共和国は、牛肉等の消費量の増大に対応して飼料用トウモロコシの需要量が増大しているため、肉類 3 品目合計の一人当たり消費量との関係を見たが、顕著な相関関係は認められなかった。
- したがって、トウモロコシ「作付面積」の将来作付面積推計は、2000 年から 2009 年の傾向のトレンドから算出することとした。

3.2.9 トウモロコシの灌漑面積と変動量の取り扱い

米（水田）と同様の取り扱いとした。

3.2.10 トウモロコシの灌漑面積・非灌漑面積、作付面積の推計結果

- ① 「灌漑面積」は、中華人民共和国、アメリカ合衆国、ブラジルの主要3か国の増加傾向を反映して、世界全体としても増加しているが、メキシコ、アルゼンチン、インド等では横ばい傾向となっている。
- ② 「非灌漑面積」は、農業国の一部が微増となっていることを受けて世界全体としても微増となったものである。

図 3.14 トウモロコシの「灌漑面積・非灌漑面積」の推計結果（世界合計）

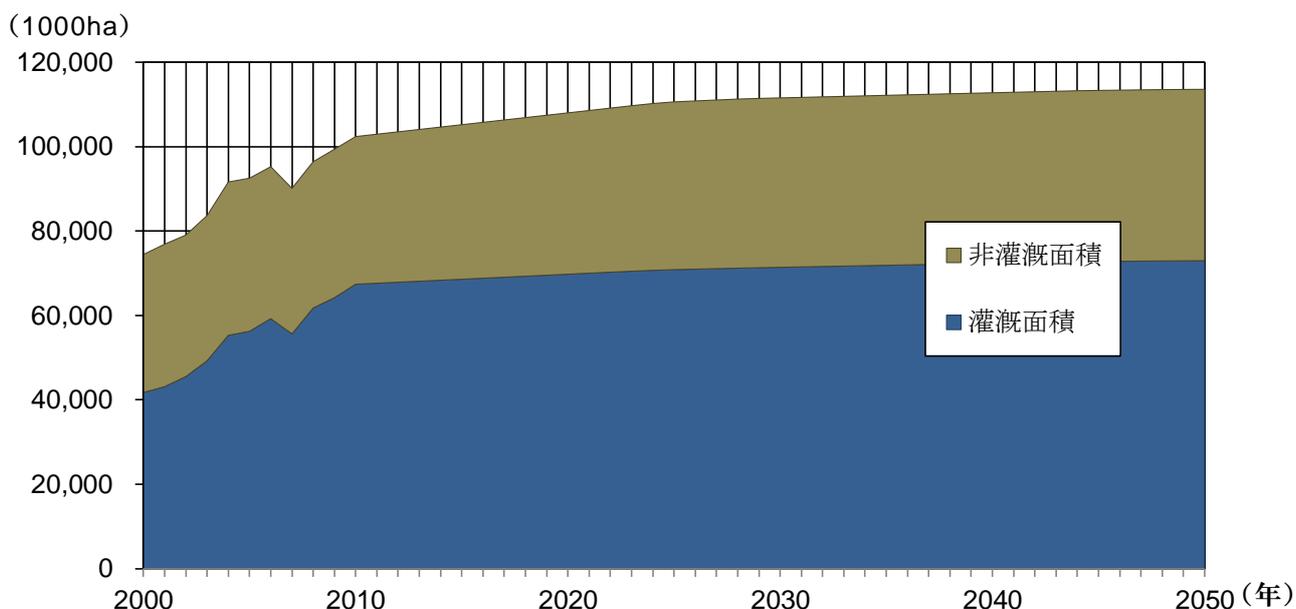


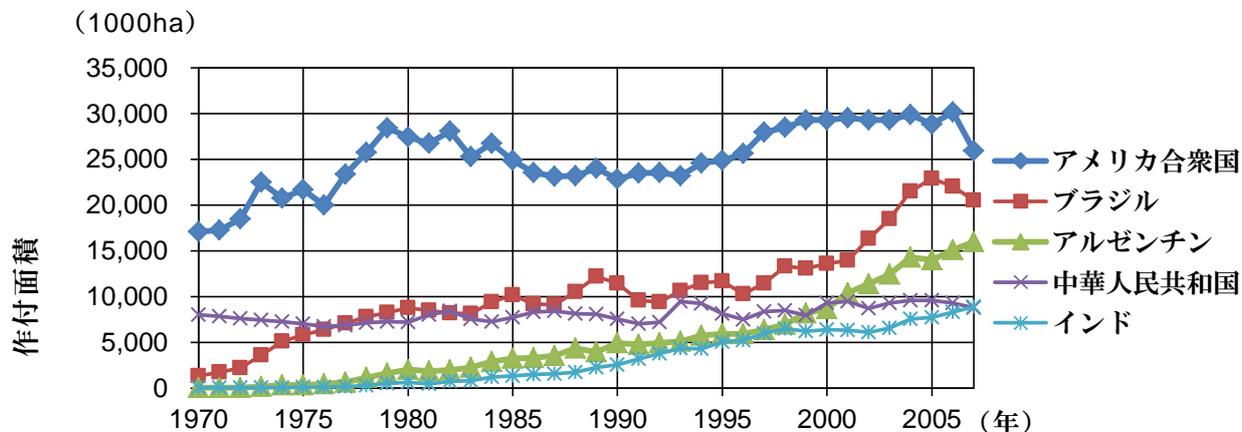
表 3.7 トウモロコシの対 2010 年の面積比率（世界合計及び主要国）

	世界合計		アメリカ合衆国		中華人民共和国		ブラジル	
	2025	2050	2025	2050	2025	2050	2025	2050
灌漑面積	1.10	1.16	1.07	1.11	1.31	1.34	1.03	1.09
非灌漑面積	1.03	1.05	---	---	1.00	1.00	1.00	1.00
作付面積	1.07	1.12	1.07	1.11	1.21	1.23	1.02	1.06

3.2.11 大豆の作付面積

アルゼンチン、インド、パラグアイが増加傾向にあるが、他の国は横ばい、ないしは、減少傾向を示している(図 3.15)。「消費量」や「GDP」との相関関係が認められないことから、2000年から2009年の傾向のトレンドから算出することとした。

図 3.15 大豆「作付面積」の経年推移



(データ出典：FAOSTAT 統計)

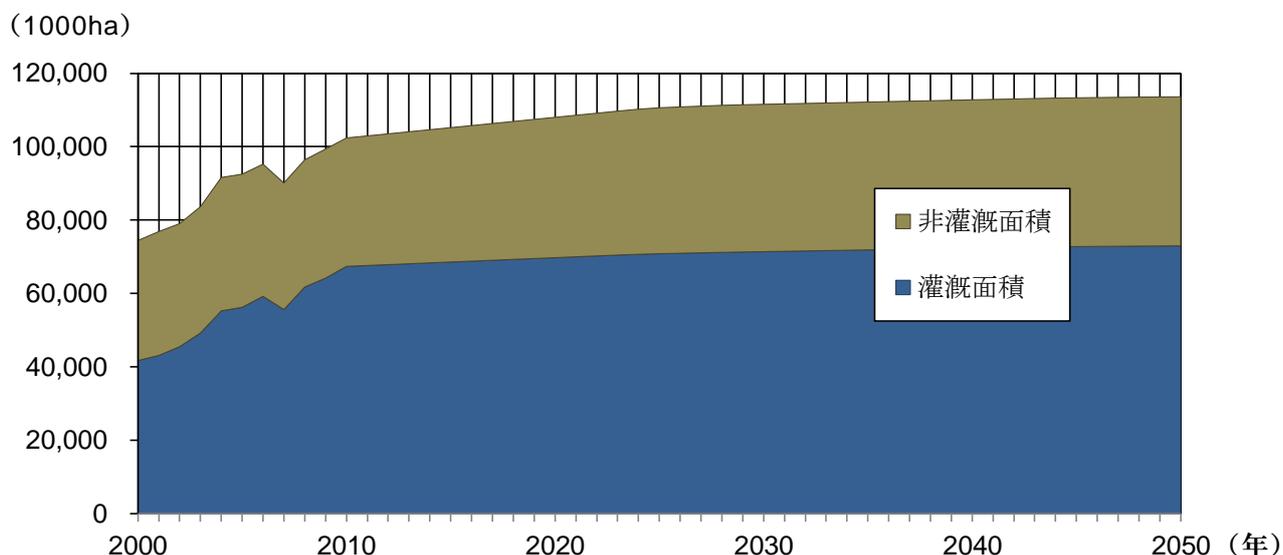
3.2.12 大豆の灌漑面積と変動量の取り扱い

米（水田）と同様の取り扱いとした。

3.2.13 大豆の灌漑面積・非灌漑面積、作付面積の推計結果

アルゼンチン、インド、パラグアイの増加傾向を反映して、10%程度の増加となった(図 3.16)。

図 3.16 大豆の「灌漑面積・非灌漑面積」の推計結果（世界合計）



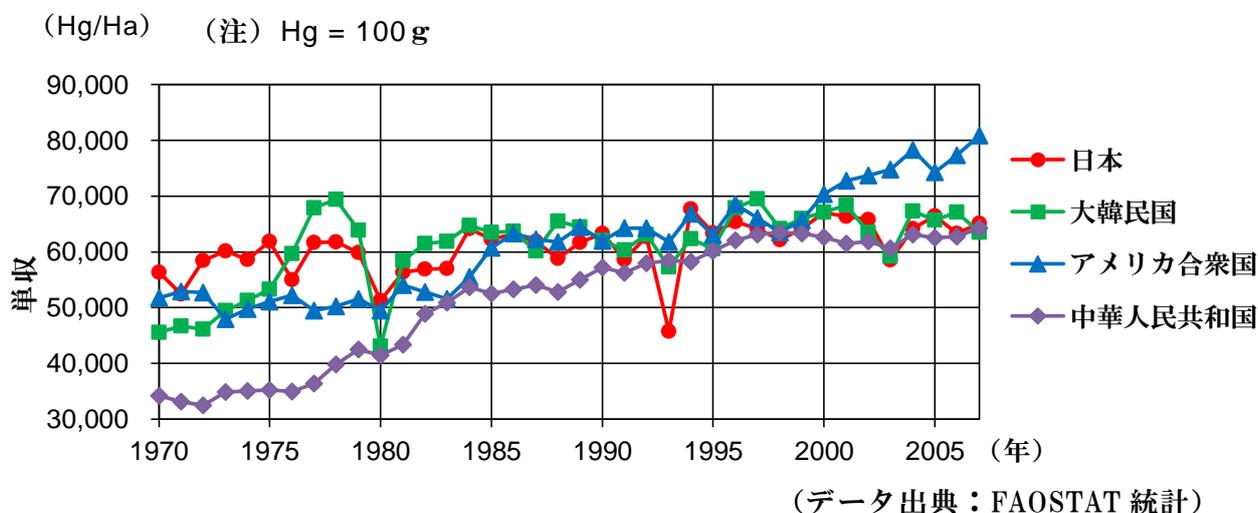
3.3 平均単収

3.3.1 米（水田）の平均単収

1) 日本、中華人民共和国、大韓民国（図 3.17）

- ・ 日本と大韓民国は、距離が近く隣接していることを反映してか、極めて似通った「平均単収」の値と傾向を示している。
- ・ 中華人民共和国は、近年の「平均単収」は同レベルの値となっている。
- ・ 3か国ともに、近年は、横ばい傾向を示しているが、日本の耕作状況を考えると、現在の状況ではほぼ上限に達していると考えられる。
- ・ したがって、この3か国の「将来平均単収」は、2000年～2010年（ただし、不作年と推定される2003年を除く）の平均値を採用した。

図 3.17 米（水田）の「平均単収」の経年推移－日本等（1970年～2007年）



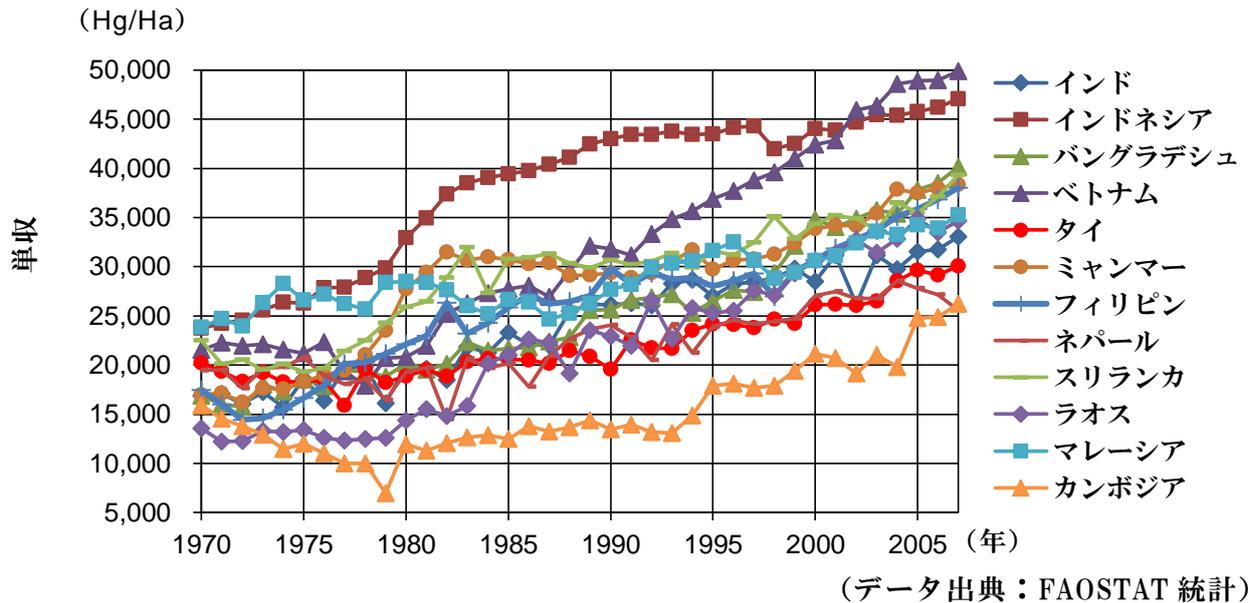
2) アメリカ合衆国（図 3.17）

- ・ 1985年から2000年ころまでは、日本と全くと言って良いほどに同じレベルであったが、2000年以降は急激な増加傾向を示している。
- ・ この急激な増加傾向の要因を特定できなかったことから、「将来平均単収」はこの傾向のトレンドを延長した。
- ・ ただし、他国を参考に上限値を85,000 (Hg/Ha) とした。

3) 中近東、中央アジアを除く他のアジア地域（図 3.18）

- ・ ベトナムとインドネシアの「平均単収」が比較的高い。近年は増加率が小さくなっているが、すべての国は右肩上がりの増加傾向を示している。
- ・ したがって、「将来平均単収」は、この傾向のトレンドを延長した。
- ・ ただし、日本を参考に上限値を65,000 (Hg/Ha) とした。

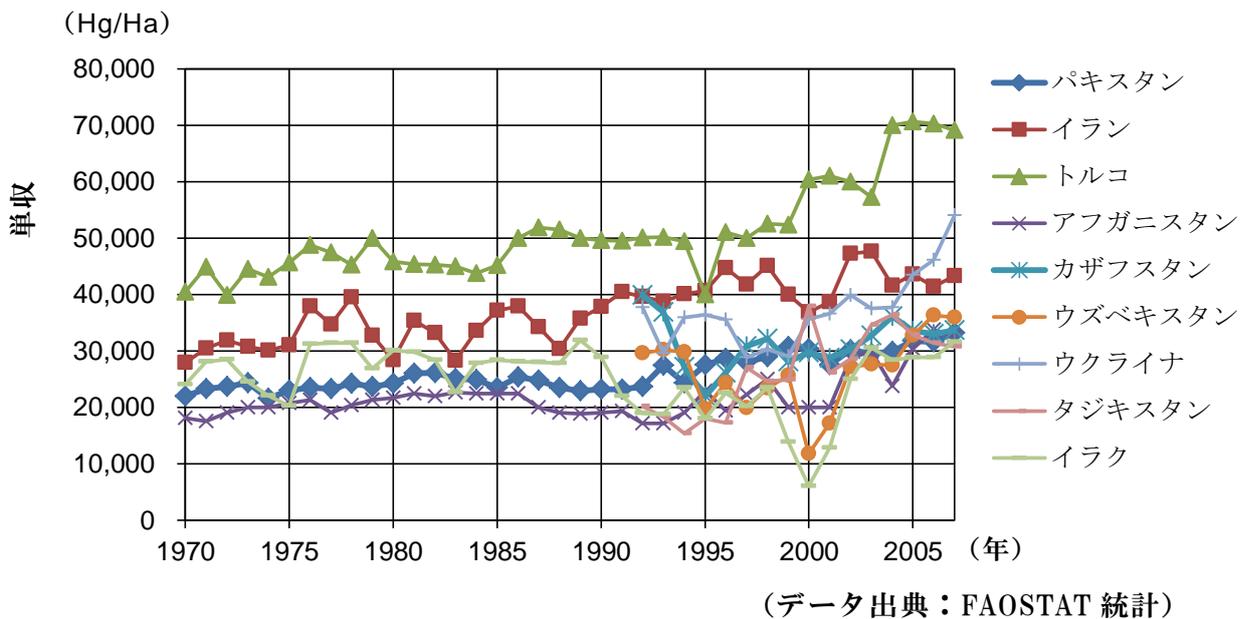
図 3.18 米（水田）「平均単収」の経年推移－東南アジア等（1970年～2007年）



4) 中近東及び中央アジア(図 3.19)

- ・ 増加率が横ばい傾向の国もあるが、全般に増加傾向にある。
- ・ したがって、「将来平均単収」は、この傾向のトレンドを延長した。
- ・ ただし、トルコを参考に上限値を 70,000 (Hg/Ha) とした。

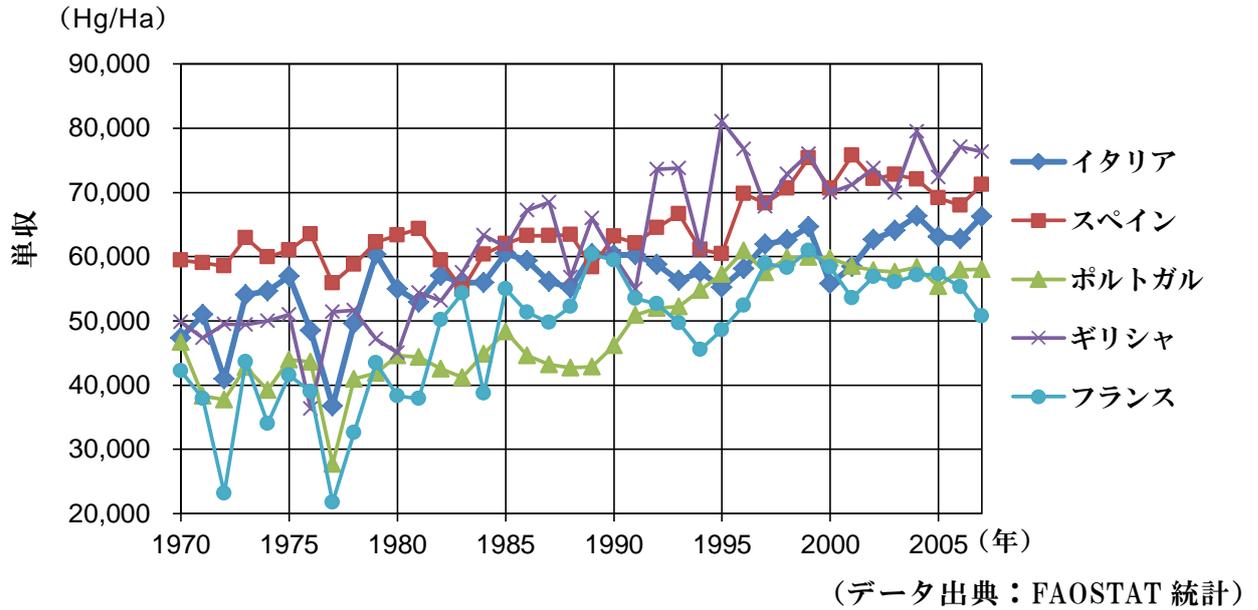
図 3.19 米（水田）「平均単収」の経年推移－中近東等（1970年～2007年）



5) 西ヨーロッパ (図 3.20)

- ・ 西ヨーロッパは、作付面積、生産量ともに小さいことの影響か、大きな上下変動も見られるが、近年は高い値で横ばい傾向にある。
- ・ したがって、「将来平均単収」は、2000年～2009年の平均値を採用した。

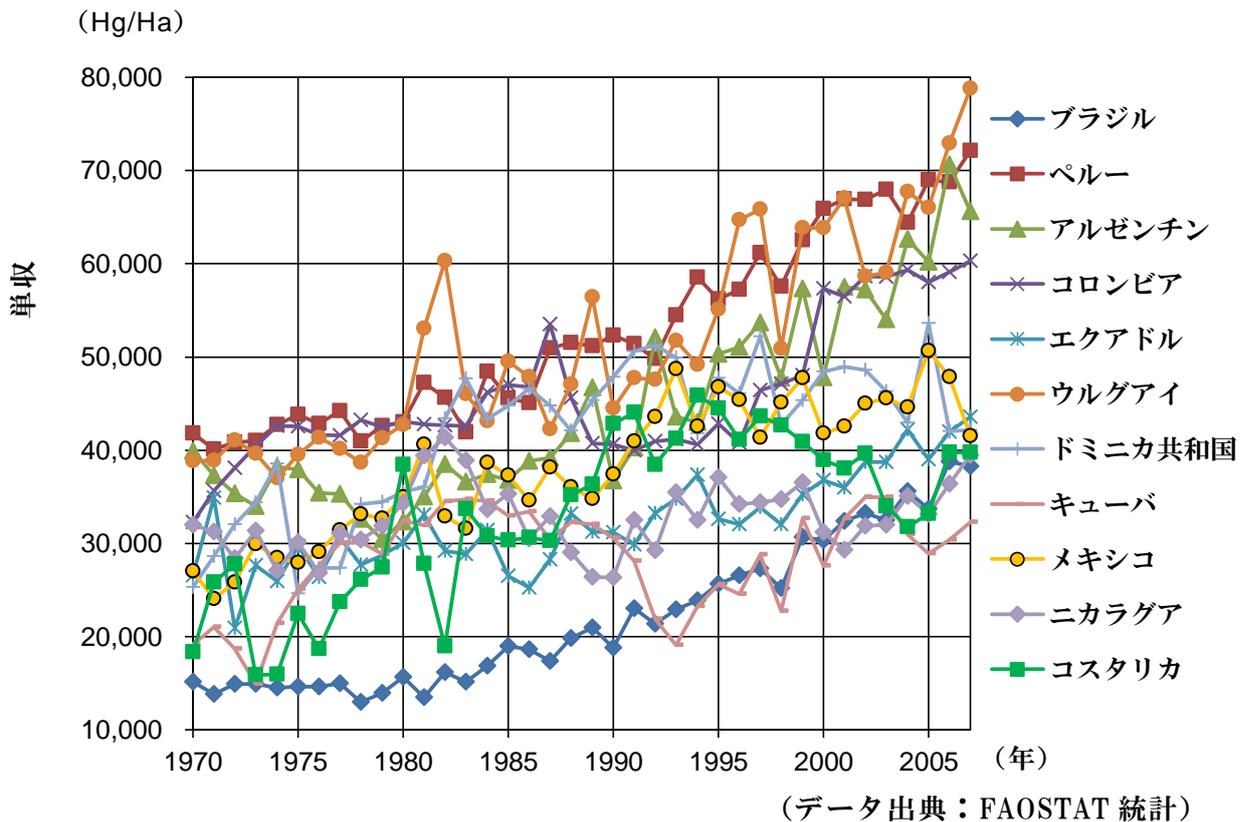
図 3.20 米（水田）「平均単収」の経年推移－西ヨーロッパ（1970年～2007年）



6) 中央アメリカ、南アメリカ（図 3.21）

- ・ 一部の国に上限変動が認められるが、全般的に増加傾向を示している。
- ・ したがって、「将来平均単収」は、アメリカ合衆国と同様にこの傾向のトレンドを採用した（最小二乗法を適用）。
- ・ ただし、ペルー等を参考に上限値を 70,000 (kg/Ha) とした。

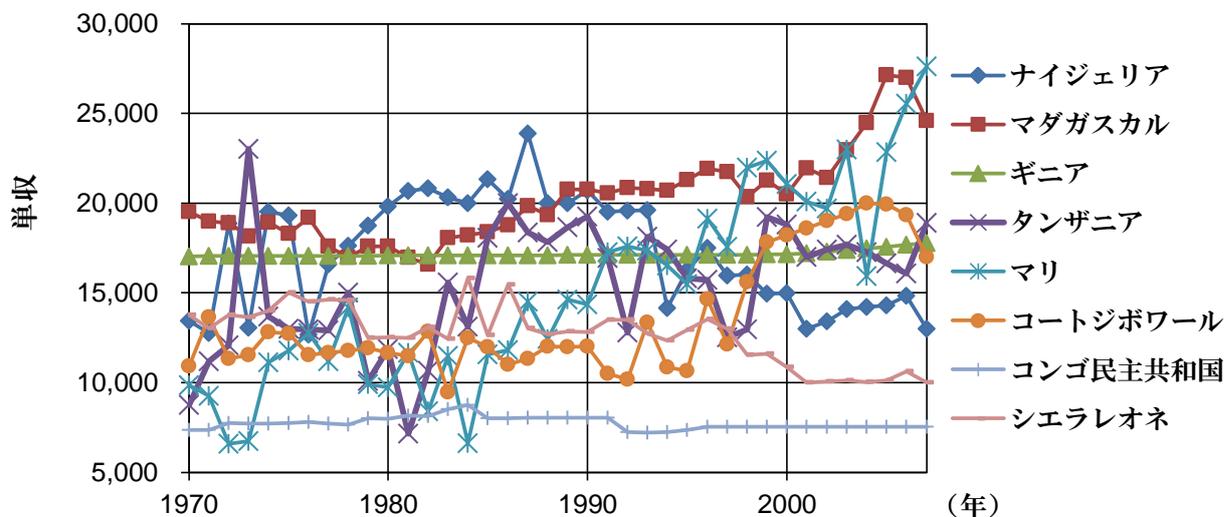
図 3.21 米（水田）「平均単収」の経年推移－中央・南アメリカ（1970年～2007年）



7) アフリカ (図 3.22)

- ・ 「平均単収」の値が他の地域と比較すると相対的に小さく、かつ、傾向もさまざまである。
- ・ したがって、「将来平均単収」は、アメリカ合衆国と同様にこの傾向のトレンドを採用した (最小二乗法を適用)。
- ・ 他国を参考に上限値を 50,000 (Hg/Ha) とした。
- ・ ただし、エジプトは、「平均単収」が約 100,000 (Hg/Ha) で横ばいとなっていることから「将来平均単収」は、2000 年～2007 年の平均値を採用した。
- ・ また、モロッコは、近年の「平均単収」が約 70,000 (Hg/Ha) となっていることから上限値を 75,000 (Hg/Ha) とした。

図 3.22 米 (水田)「平均単収」の経年推移—アフリカ (1970 年～2007 年)
(Hg/Ha)



(データ出典：FAOSTAT 統計)

8) その他の国

- ・ 東ヨーロッパ等上記以外の国の「将来平均単収」は、この傾向のトレンドを延長した。
- ・ 日本を参考に上限値を 65,000 (Hg/Ha) とした。

9) 減少傾向を示した国

- ・ 「平均単収」の減少傾向を示した国がアフリカ地域、及び、中央アメリカ地域に 16 か国あった。これらの国々の「将来平均単収」は、2000 年～2008 年の平均値を採用した。
- ・ なお、これらの国々は、いずれも作付面積が極めて小さく (16 か国合計の作付面積の世界比率：0.24%)、影響はほとんどない。

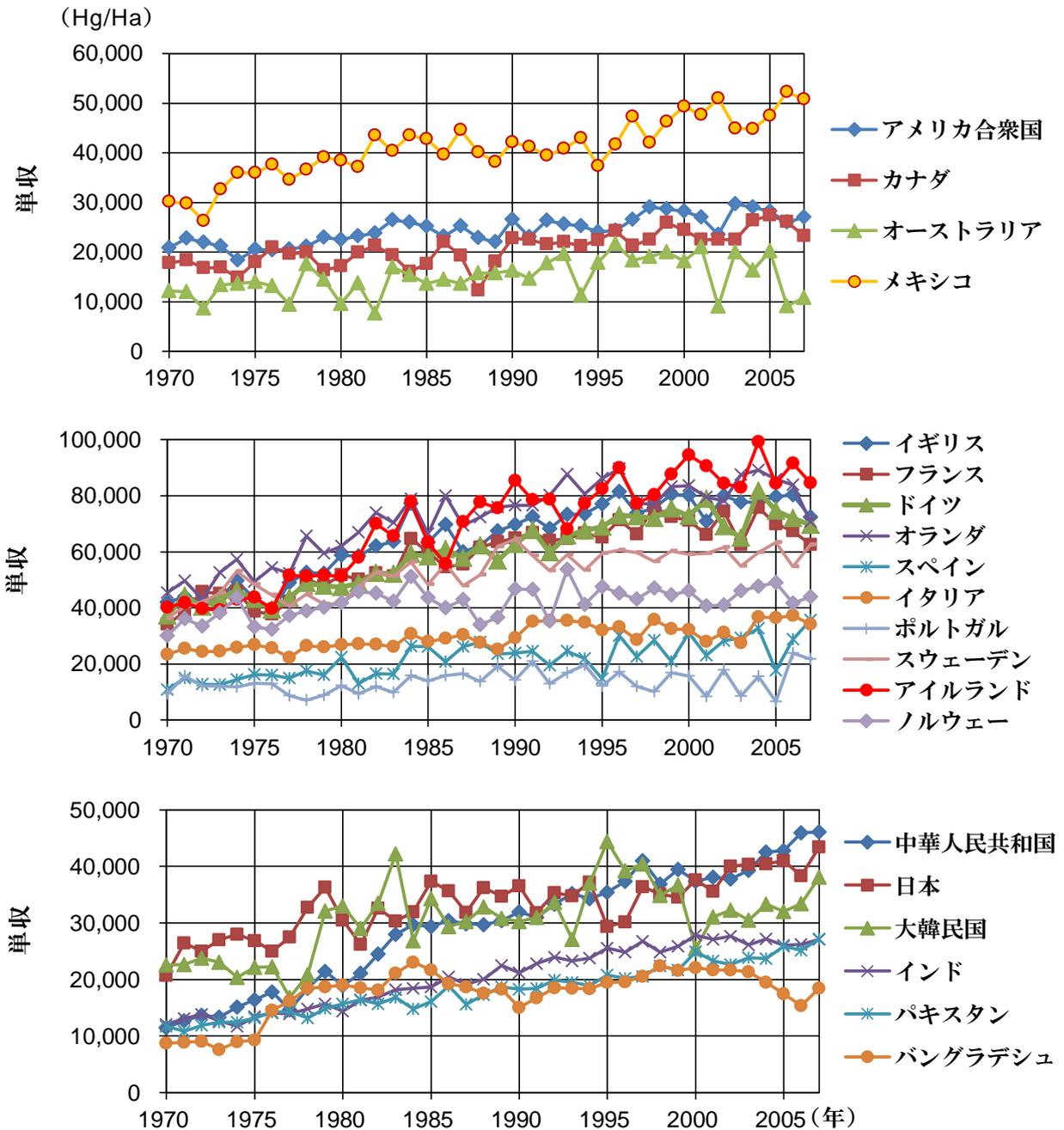
3.3.2 小麦の平均単収

小麦の「平均単収」も米（水田）同様に、FAOSTAT 統計の地域区分を基本として経年変化を見たが、米（水田）と異なり大きな上下変動を示す国が多い（図 3.23）。

また、「小麦の消費量」や「GDP」との相関関係は見られなかった。

したがって、小麦の「平均単収」の将来推計は、2000 年から 2007 年の傾向のトレンドから算出することとした。

図 3.23 小麦「平均単収」の経年推移（1970 年～2007 年）



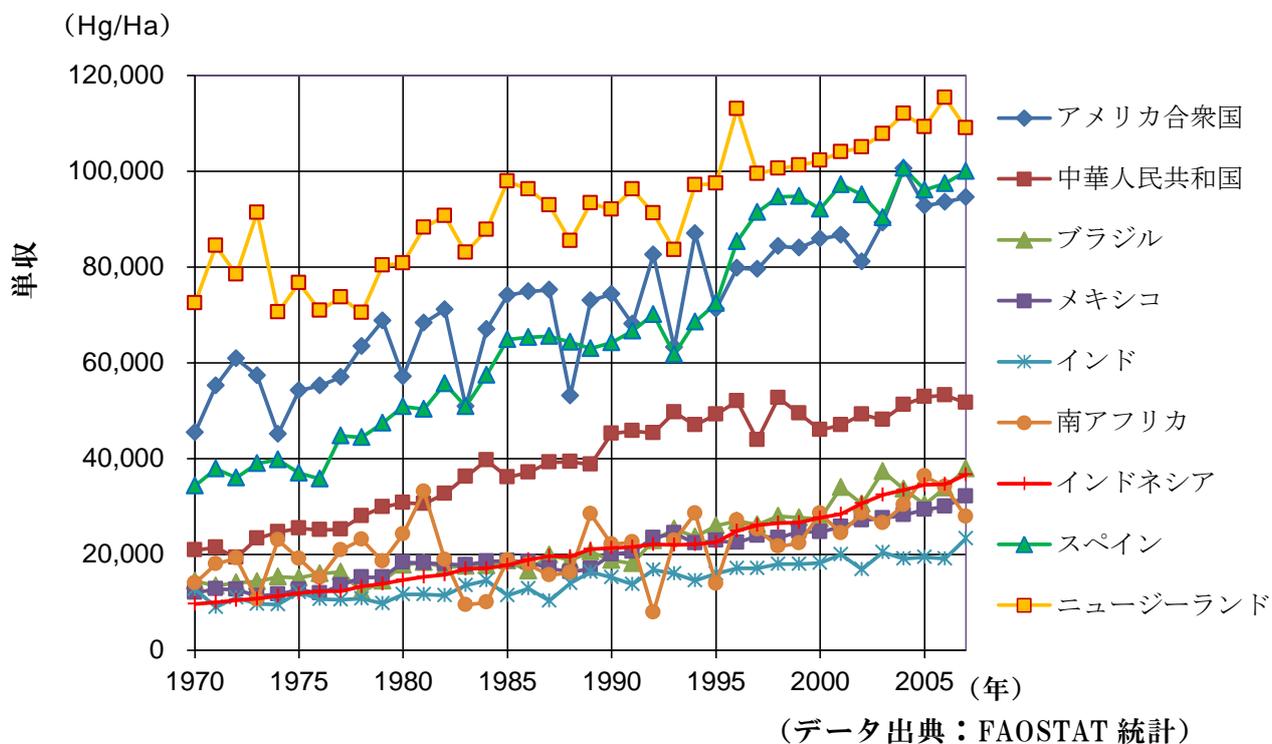
(データ出典：FAOSTAT 統計)

3.3.3 トウモロコシの平均単収

トウモロコシの「平均単収」も米（水田）同様に、FAOSTAT 統計の地域区分を基本として経年変化を見たが、作付品種の違いかアメリカ合衆国等の先進国と発展途上国の2つのグループに分かれている（図 3.24）。

トウモロコシの「平均単収」の将来推計は、2000 年から 2010 年の傾向のトレンドから算出することとした。

図 3.24 トウモロコシ「平均単収」の経年推移（1970 年～2007 年）

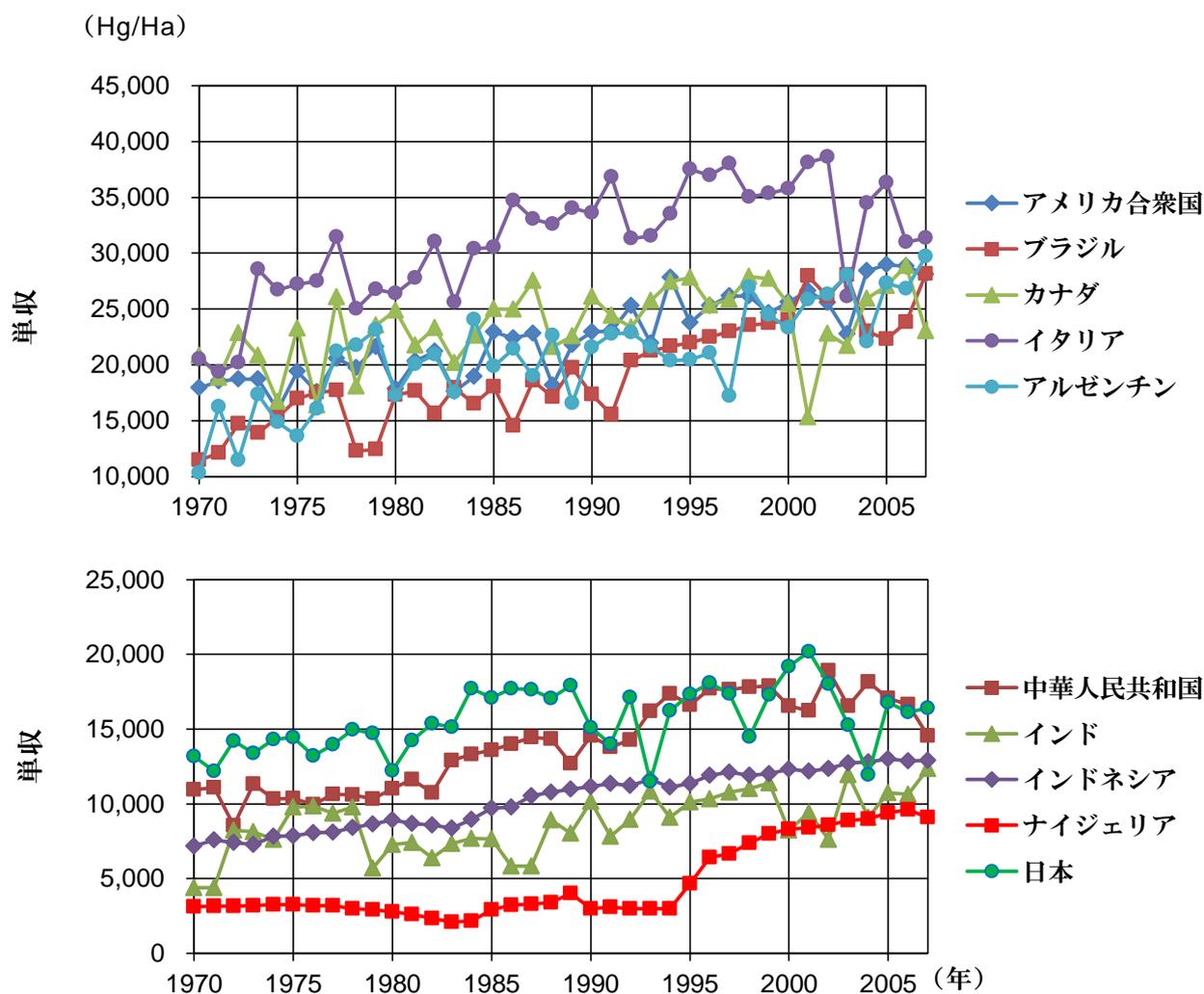


3.3.4 大豆の平均単収

「平均単収」は、上下変動の大きい国が多いが、全般的には減少、ないしは、横ばい傾向を示している。また、作付品種の違いからか2つのグループに分かれている（図 3.25）。

「消費量」や「GDP」との相関関係が認められないことから、大豆「作付面積」の将来作付面積推計は、2000年から2007年の傾向のトレンドから算出することとした。

図 3.25 大豆「平均単収」の経年推移（1970年～2007年）



(データ出典：FAOSTAT 統計)

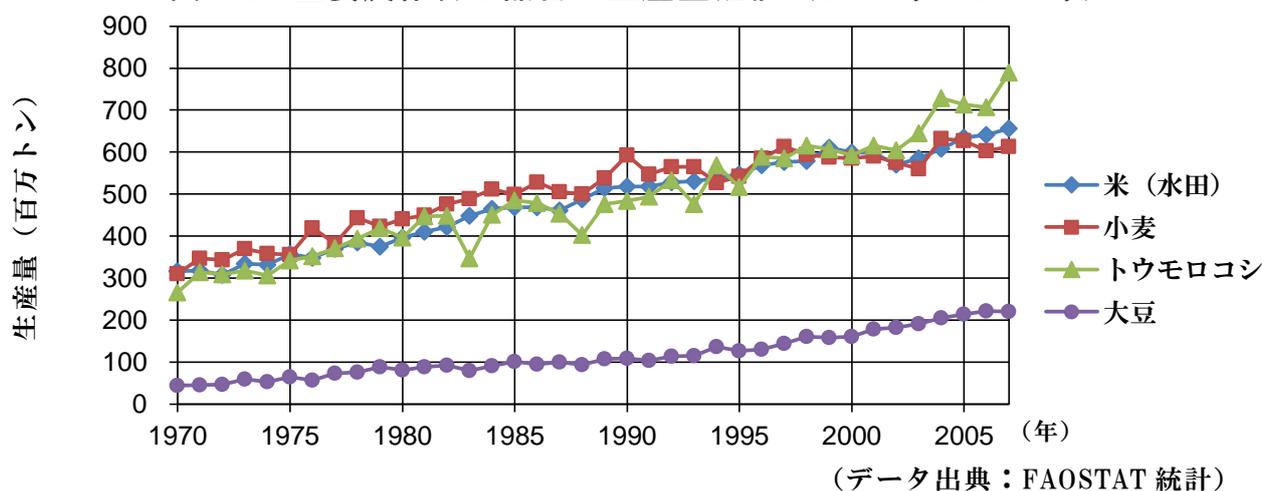
第4章 主要農作物4品目の将来需要量

4.1 主要農作物4品目の生産量と用途別内訳

4.1.1 主要農作物4品目の生産量

主要農作物4品目の生産量の近年の傾向は、小麦が横ばい傾向、他の3品目は全体として右肩上がりの増加傾向を示している（図4.1）。

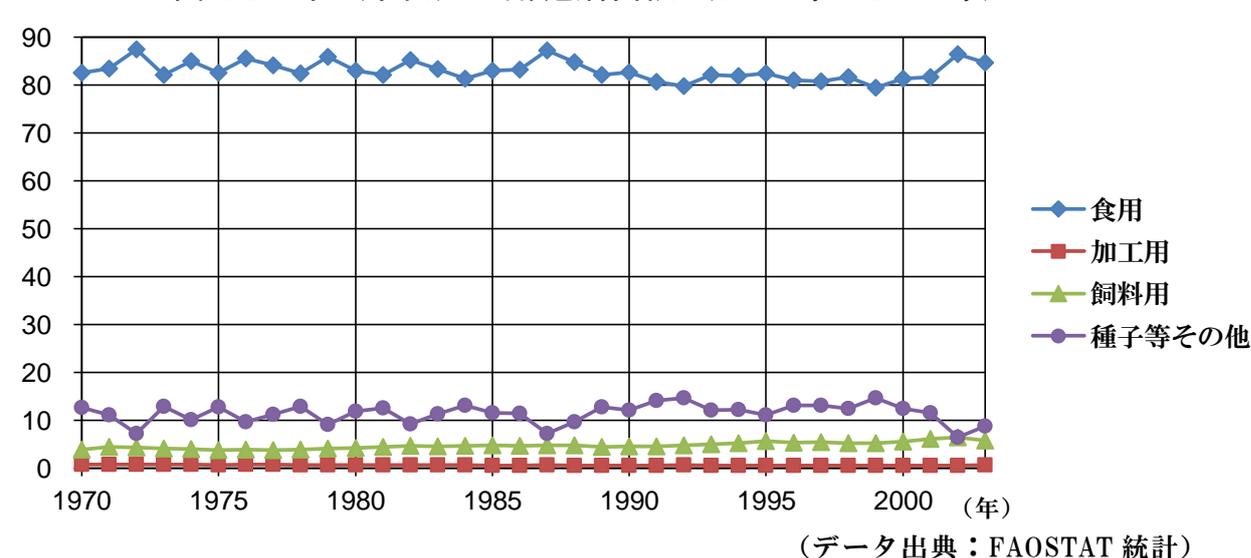
図4.1 主要農作物4品目の生産量推移（1970年～2007年）



4.1.2 米（水田）の用途別内訳

米（水田）の1970年～2003年の用途別内訳は、「食用」が80%～90%を占め、かつ、その比率は多少の変動はあるもののほぼ横ばいでほとんど変化していない。他の用途の内訳比率も同様にほとんど変化していない（図4.2）。

図4.2 米（水田）の用途別内訳（1970年～2003年）



米（水田）の生産量が増加しているにも関わらず「食用」の内訳比率がほとんど変化していないということは、米を主食とする人口と生産量の間に関連関係があり、一人あたりの消費量がほぼ一定量であると推定できるので、「人口」「生産量」「一人あたりの消費量」の関係を分析することで米（水田）の将来需要量を推計できる可能性がある。

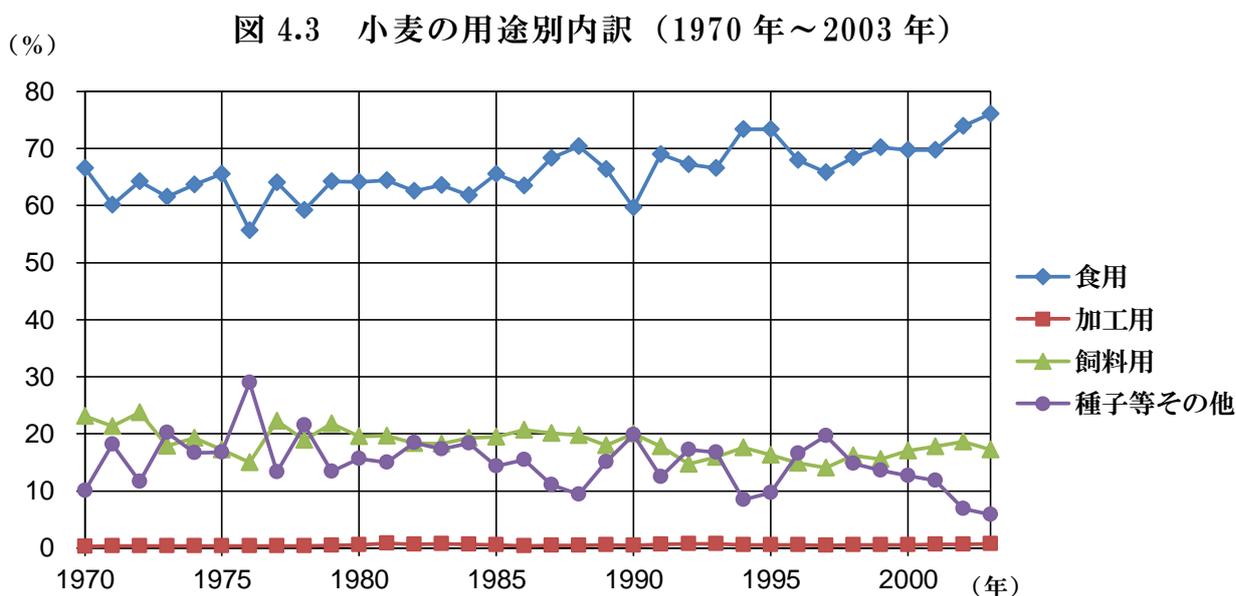
表 4.1 米（水田）の用途別内訳比率（1997年～2007年の平均値）

	食用	加工用	飼料用	その他
比率(%)	82.3	0.6	5.7	11.4

4.1.3 小麦の用途別内訳

小麦の1970年～2003年の用途別内訳は、「食用」が約70%を占め、かつ、その比率は横ばいである。他の用途の内訳比率も同様にほとんど変化していない(図4.3)。

小麦の「食用」の将来需要量の推計も米（水田）と同様に推計できる可能性があるが、「飼料用」が20%弱を占めていることから「飼料用」の将来需要量の推計を別途行う必要がある。この推計方法としては、肉類の消費量との相関関係を分析することが考えられる。



(データ出典：FAOSTAT 統計)

表 4.2 小麦の用途別内訳比率（1997年～2007年の平均値）

	食用	加工用	飼料用	その他
比率(%)	70.6	0.6	16.7	12.2

4.1.4 トウモロコシの用途別内訳

トウモロコシの1970年～2003年の用途別内訳は、「食用」と「飼料用」はほぼ横ばい傾向であるが、「加工用」はやや増加傾向にある（図4.4）。

「加工用」の増加は、植物性油の消費量やバイオ燃料の生産と関係があると考えられることから、この点の分析を行うこととする。

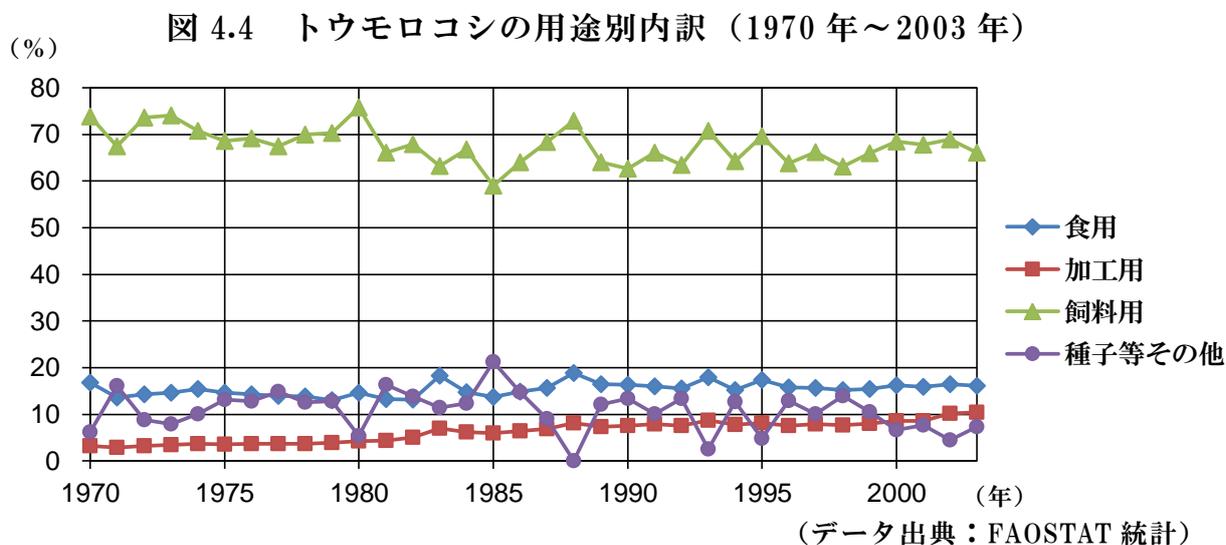
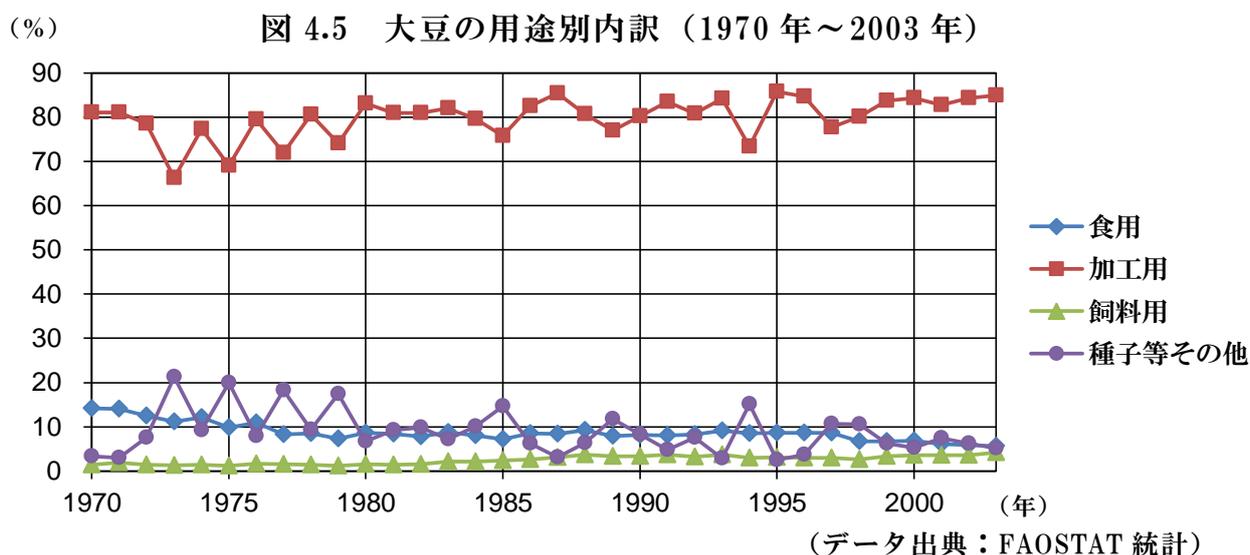


表4.3 トウモロコシの用途別内訳比率（1997年～2007年の平均値）

	食用	加工用	飼料用	その他
比率(%)	15.9	8.8	66.7	8.7

4.1.5 大豆の用途別内訳

大豆の1970年～2003年の用途別内訳は、「加工用」が80%以上を占め、かつ、近年やや増加傾向にある。一方、「食用」はやや減少傾向にある（図4.5）。



大豆の「加工用」は、植物性油の生産と関係があると考えられることから、この点の分析を行うこととする。

表 4.4 大豆の用途別内訳比率（1997年～2003年の平均値）

	食用	加工用	飼料用	その他
比率(%)	6.7	82.5	3.4	7.4

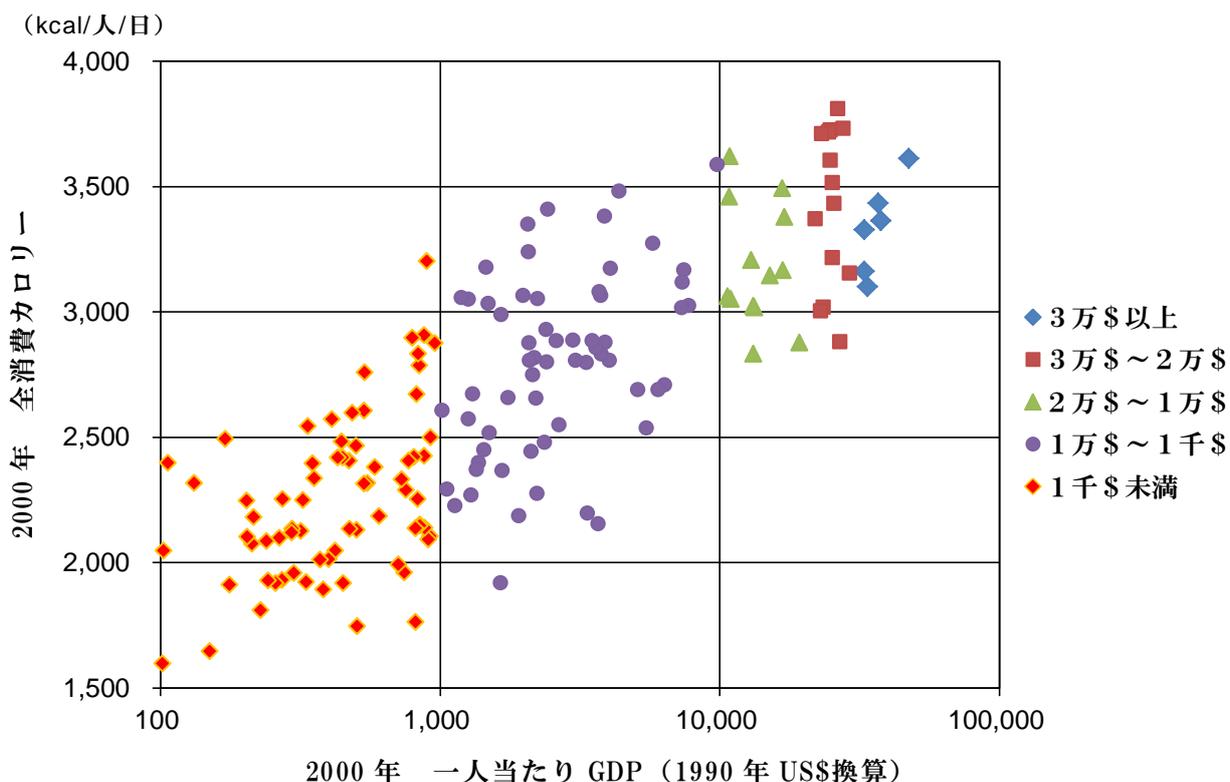
4.2 主要農作物4品目「食用量」の将来需要量推計方法

4.2.1 「全消費カロリー」と「一人当たりGDP」との関係

「一人当たりのGDP」の金額が大きいほど「肉類」や「乳製品」等の消費比率が高く、かつ、消費カロリー全体量も高いと想定されることから、「全消費カロリー」と「一人当たりGDP（1990年US\$換算）」との相関関係を見た。

結果は図4.6に示す通り両者の間には一応の関係性が認められるが、消費カロリーの分散幅が大きく、一人当たりGDPから全食料消費カロリーを推定することは不適當であり、個別品目の消費内訳を分析する必要があることが確認できた。

図 4.6 「全消費カロリー」と「一人当たりGDP（1990年US\$換算）」の関係



(データ出典 全消費カロリー：FAOSTAT 統計
一人当たりGDP：UNSTATS 統計)

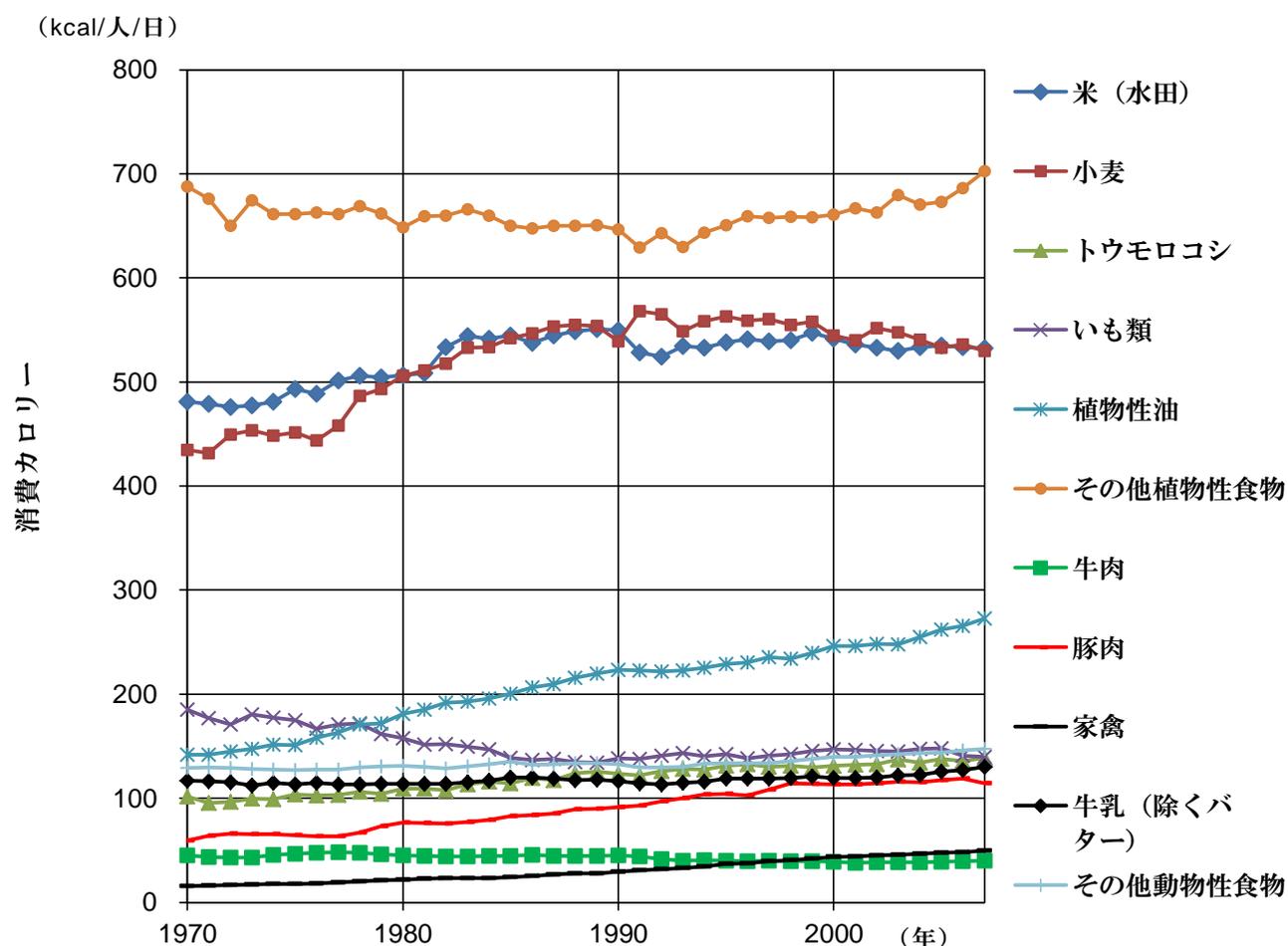
4.2.2 主要食品別消費カロリーの推移（世界平均 1970年～2007年）

主要食品別の消費カロリーの推移は、「トウモロコシ」「植物性油」「豚肉」「家禽」が増加している。

一方、主食である「米（水田）」「小麦」「いも類」と「牛肉」が減少している。

「トウモロコシ飼料用」の消費量は、肉類の消費量と関係があると想定されるが、傾向が異なるため「牛肉」「豚肉」「家禽」の需要量をそれぞれ別個に推計することとする。

図 4.7 主要食品別一人当たり消費カロリーの推移

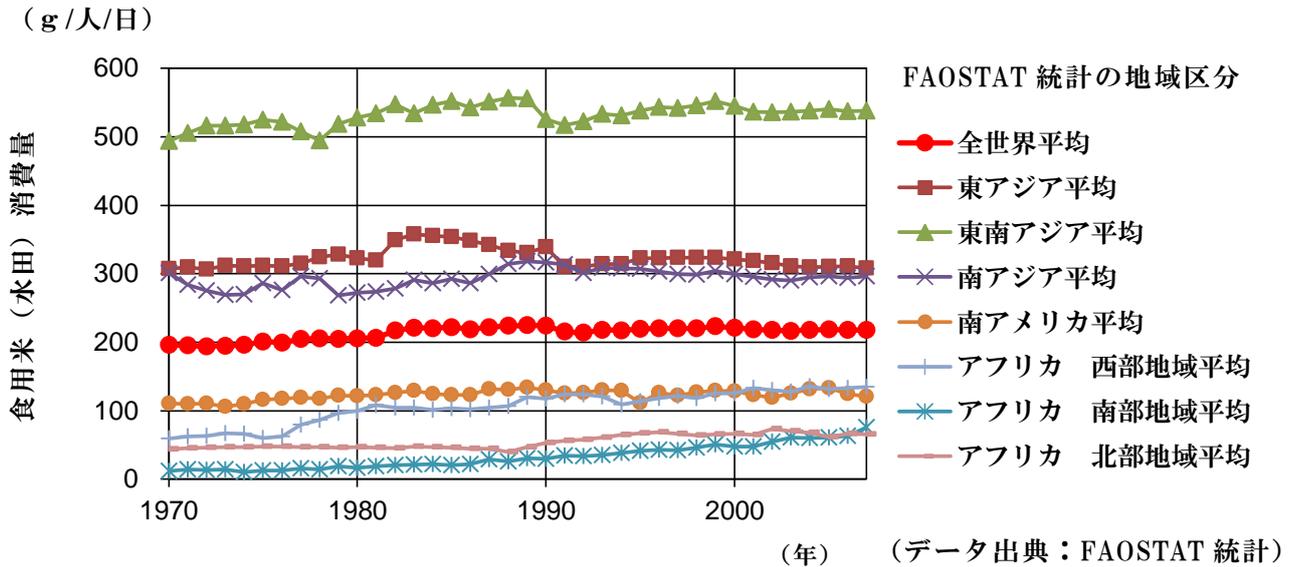


（データ出典：FAOSTAT 統計）

4.2.3 「食用米（水田）」の将来需要量推計方法

FAOSTAT 統計の地域区分毎の「食用米（水田）」の消費量（g/人/日）の推移は、米を主食とする東アジア地域（日本、中華人民共和国、大韓民国等）と南アジア地域（インド、バングラデシュ、パキスタン等）では、やや減少傾向にある。南アフリカを主要国とするアフリカ南部地域は、消費量は小さいものの増加傾向にある。他の地域はほぼ横ばい傾向である（図 4.7）。

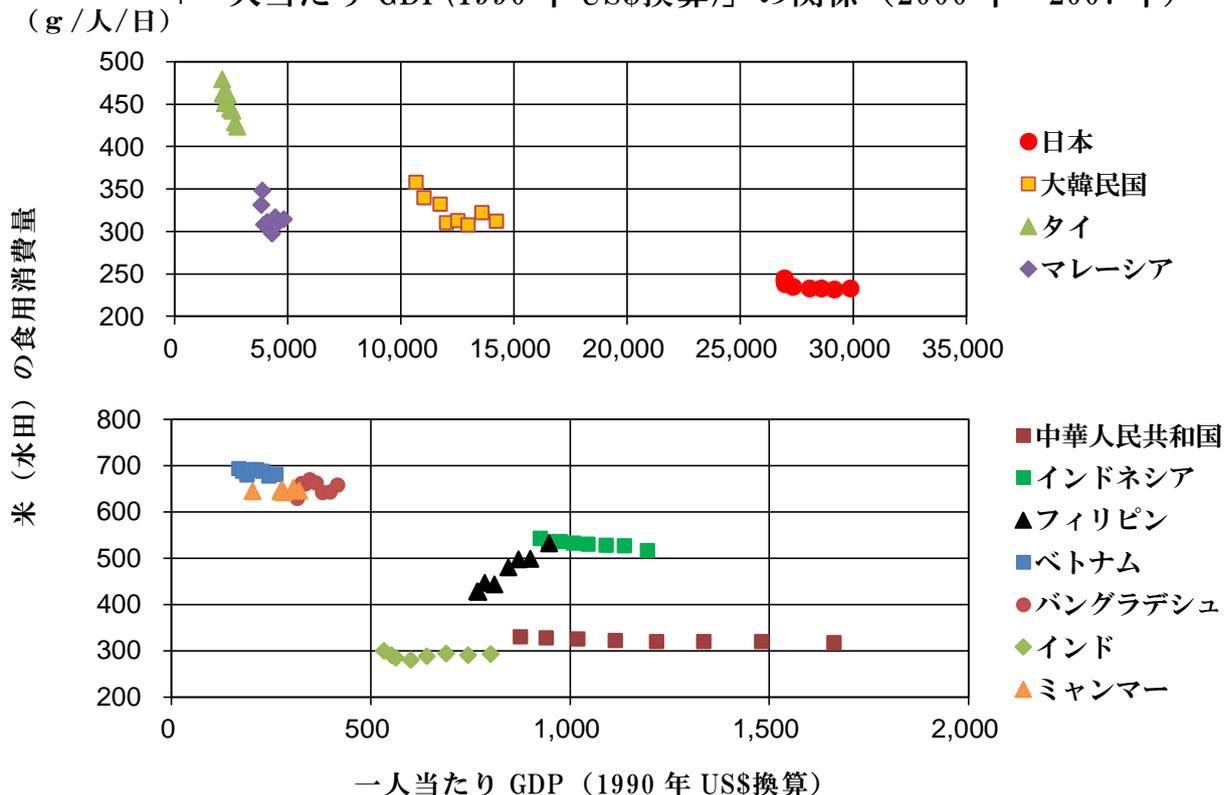
図 4.7 食用米（水田）消費量の地域別推移（1970 年～2007 年）



国別に 2000 年～2007 年の「一人当たり食用米（水田）消費量（g/人/日）」と「一人当たり GDP（1990 年 US\$換算）」の関係を分析すると以下のような傾向が認められる。

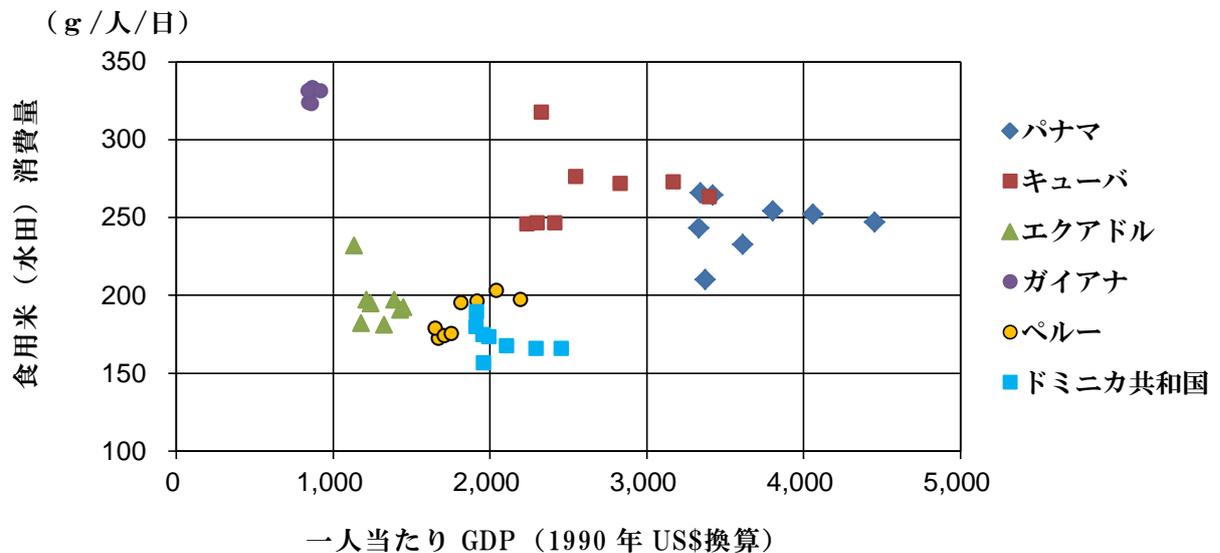
- ① 米を主食とするアジア地域の主要国では、フィリピンを除き、一人当たり GDP（1990 年 US\$換算）が大きくなるにつれて消費量は減少ないしは横ばいであり、両者には直線的な相関関係が認められる（図 4.8）

図 4.8 米を主食とするアジア各国の「一人当たり米(水田)の食用消費量」と「一人当たり GDP(1990 年 US\$換算)」の関係（2000 年～2007 年）



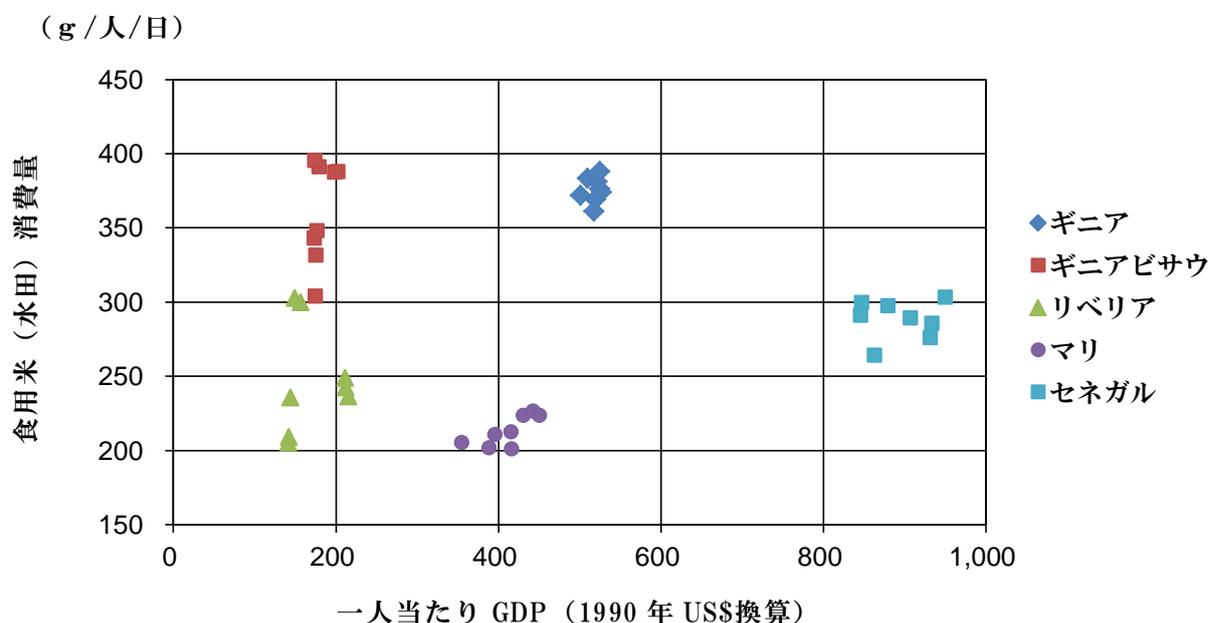
- ② 米を主食とする中央・南アメリカ地域の国の多くは、一人当たり GDP（1990年 US\$換算）が大きくなるにつれて消費量は横ばい傾向であり、両者には概ねの直線的な相関関係が認められる（図 4.9）。

図 4.9 米を主食とする中央・南アメリカの「一人当たり食用米(水田)消費量」と「一人当たり GDP(1990年 US\$換算)」の関係（2000年～2007年）



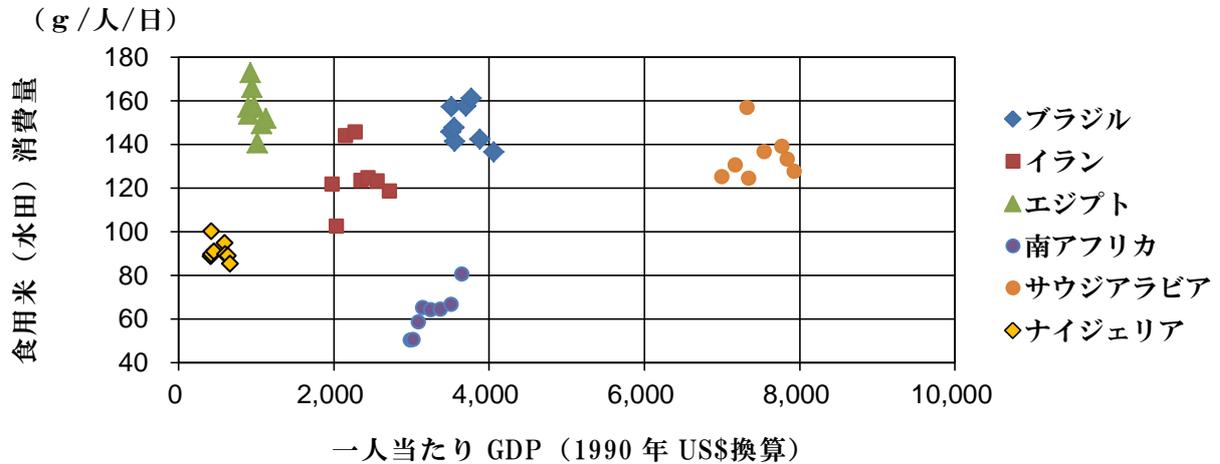
- ③ 米を主食とするアフリカ西部地域の主要国は、一人当たり GDP（1990年 US\$換算）が大きくなるにつれて消費量は増加しており、両者には概ねの直線的な相関関係が認められる（図 4.10）。

図 4.10 米を主食とするアフリカ西部地域の「一人当たり食用米(水田)消費量」と「一人当たり GDP(1990年 US\$換算)」の関係（2000年～2007年）



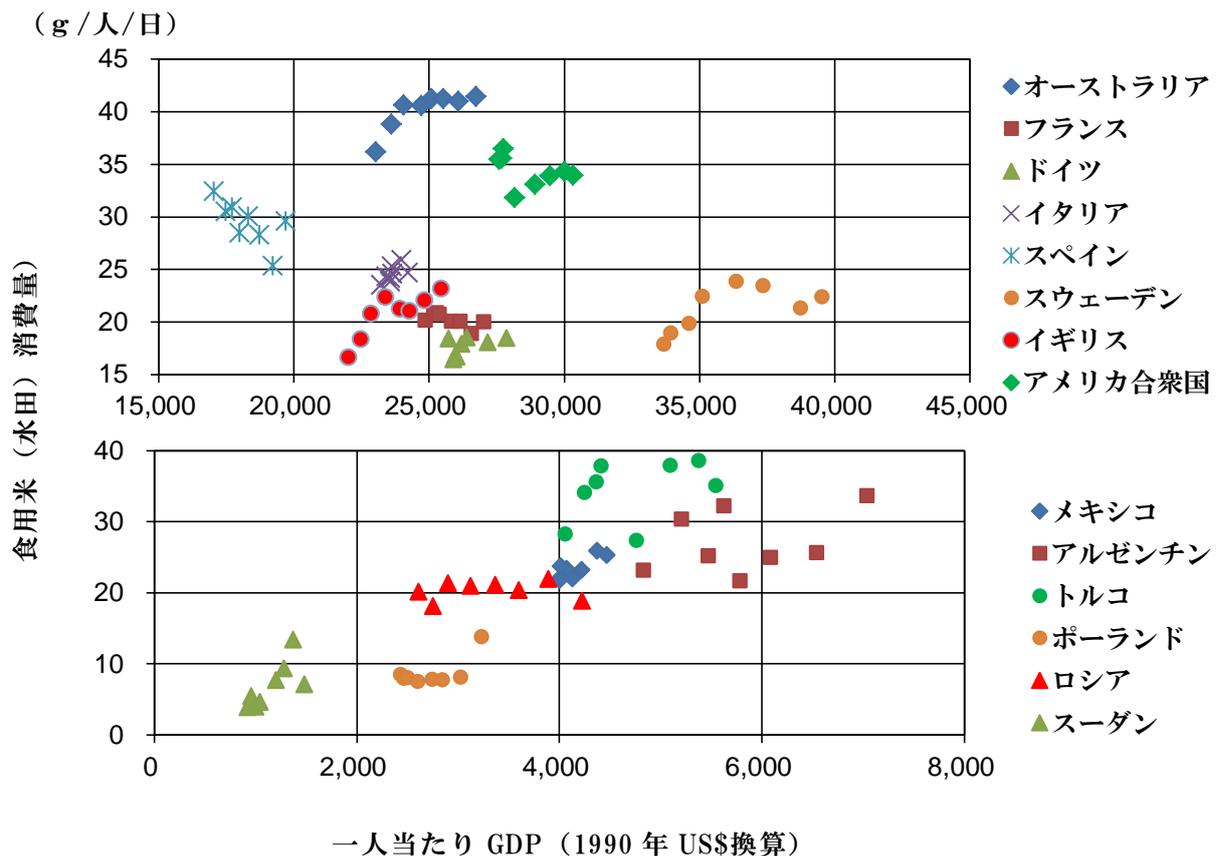
- ④ 米を主食にはしていないが比較的消費量が多い主な国では、南アフリカのよ
うに増加している国もあるが、減少傾向にある国が多い（図 4.11）

図 4.11 米消費量の比較的多い主な国の「一人当たり食用米(水田)消費量」と
「一人当たり GDP(1990 年 US\$換算)」の関係（2000 年～2007 年）



- ⑤ 米の消費量が少ない主な国では、横ばいないしは増加傾向にある国が多く、
両者には概ねの直線的な相関関係が認められる（図 4.12）。

図 4.12 米消費量の比較的少ない主な国の「一人当たり食用米(水田)消費量」と
「一人当たり GDP(1990 年 US\$換算)」の関係（2000 年～2007 年）



「食用米（水田）消費量（g/人/日）」と「一人当たり GDP（1990 年 US\$換算）」の関係には直線的な相関関係が認められることから、「食用米（水田）需要量（g/人/日）」の将来推計は、2000 年～2007 年のデータを用いて対象 166 か国の各国別に最小二乗法で求めた直線近似式の傾き（一人当たり GDP 単位当たりの増減量）から計算することとした。推計式は、以下のとおりである。

- $RS_{x年}$: X年の一人当たり食用米（水田）需要量（g）
 RS_{2000} : 1995 年～2005 年間の平均一人当たり食用米（水田）消費量（g）
 $G_{x年}$: X年の一人当たり GDP（1990 年 US\$換算）
 G_{2000} : 2000 年の一人当たり GDP（1990 年 US\$換算）
 Ra : 各国別の最小二乗法で求めた米（水田）直線近似式の傾き

$$RS_{x年} = Ra \times (G_{x年} - G_{2000}) + RS_{2000}$$

ただし、CIESIN の「A1 シナリオ一人当たり GDP(1990 年 US\$換算)」は、大きな伸び率を設定している国が多く、推計計算値が極端な値となる国もあることから、以下とおり地域別に食用米（水田）需要量の上限値と下限値を設定した。

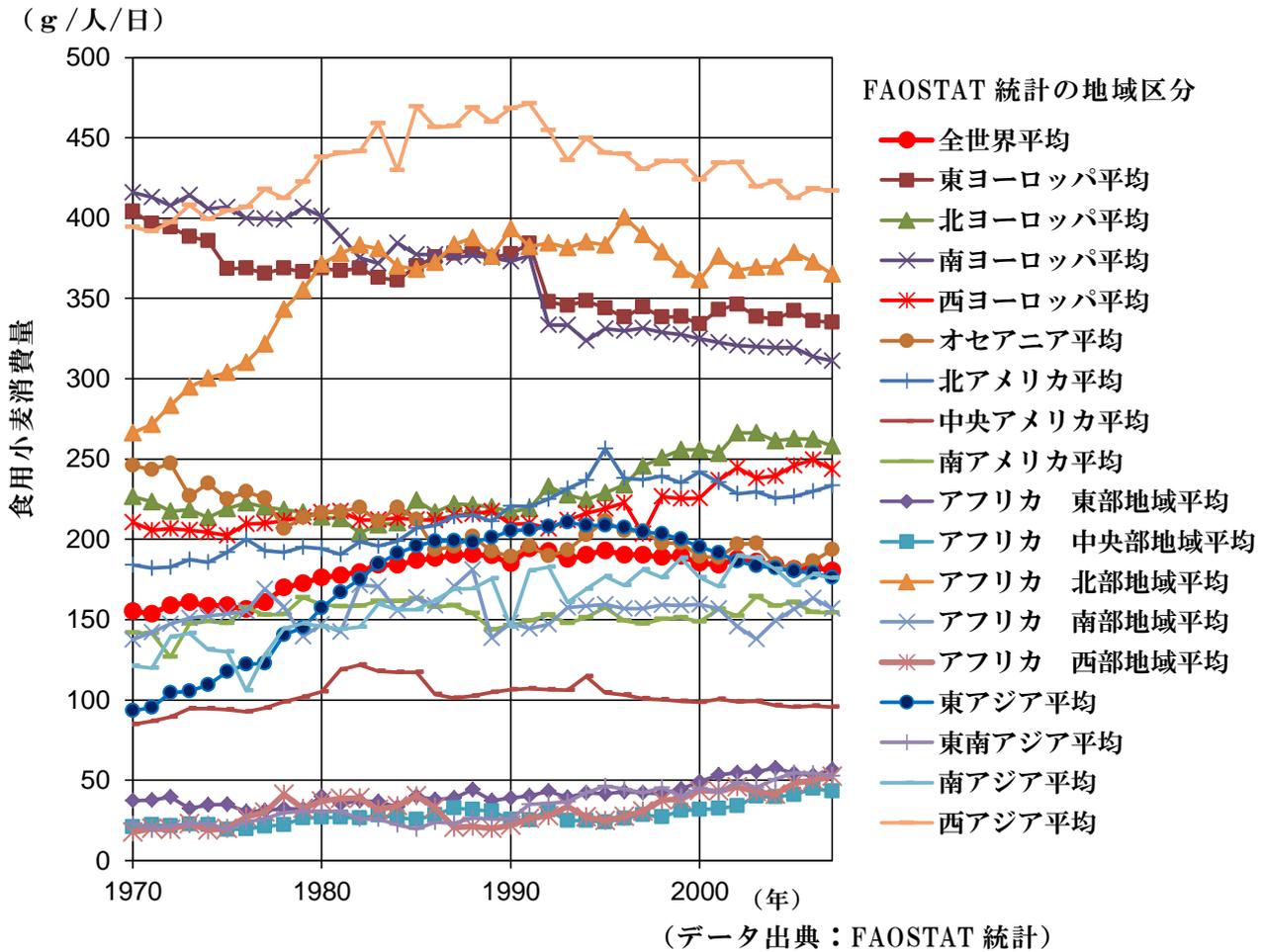
表 4.5 「食用米（水田）」需要量の推計計算値の上限値と下限値
(単位：g/人/日)

	上限値	下限値
米を主食とするアジア地域で消費量が 400g 以上	700	300
米を主食とするアジア地域で消費量が 400g 未満	500	200
米を主食とする中央・南アメリカ地域	400	150
米を主食とするアフリカ地域	400	150
主食ではなく消費量が 100g 以上	200	50
主食ではなく消費量が 75～100g	125	35
主食ではなく消費量が 50～75g	100	25
主食ではなく消費量が 25～50g	75	15
主食ではなく消費量が 25g 以下	50	0

4.2.4 「食用小麦」の将来需要量推計方法

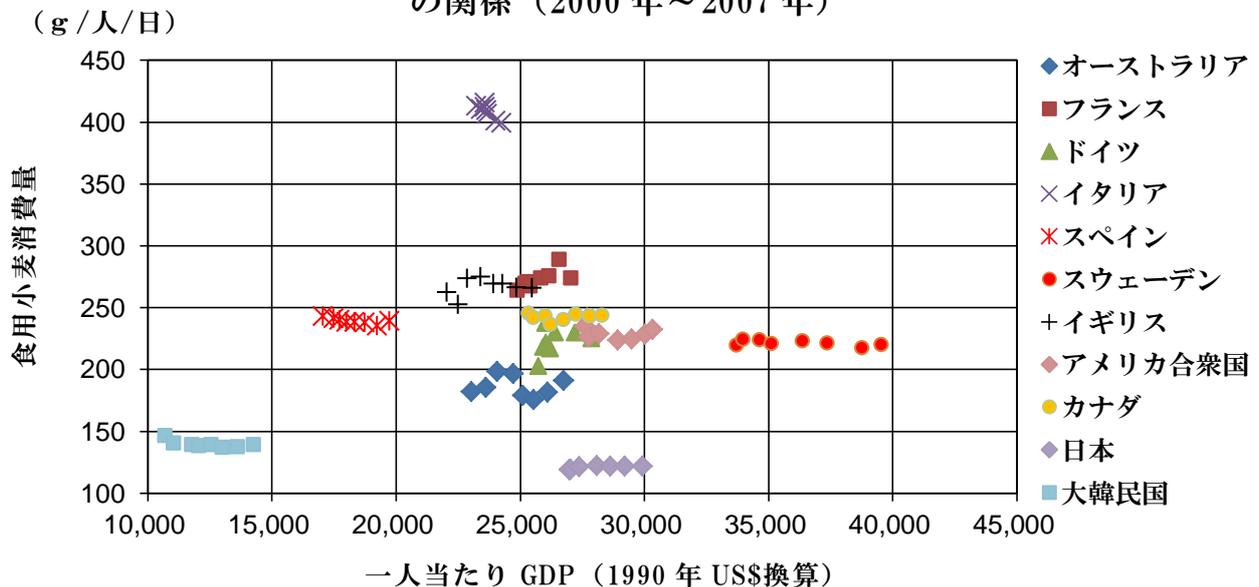
FAOSTAT 統計の地域区分毎の「食用小麦」の消費量（g）の近年の傾向は、消費量の小さい地域で増加しているが、多くの地域は、横ばいないしは減少傾向となっている（図 4.13）。

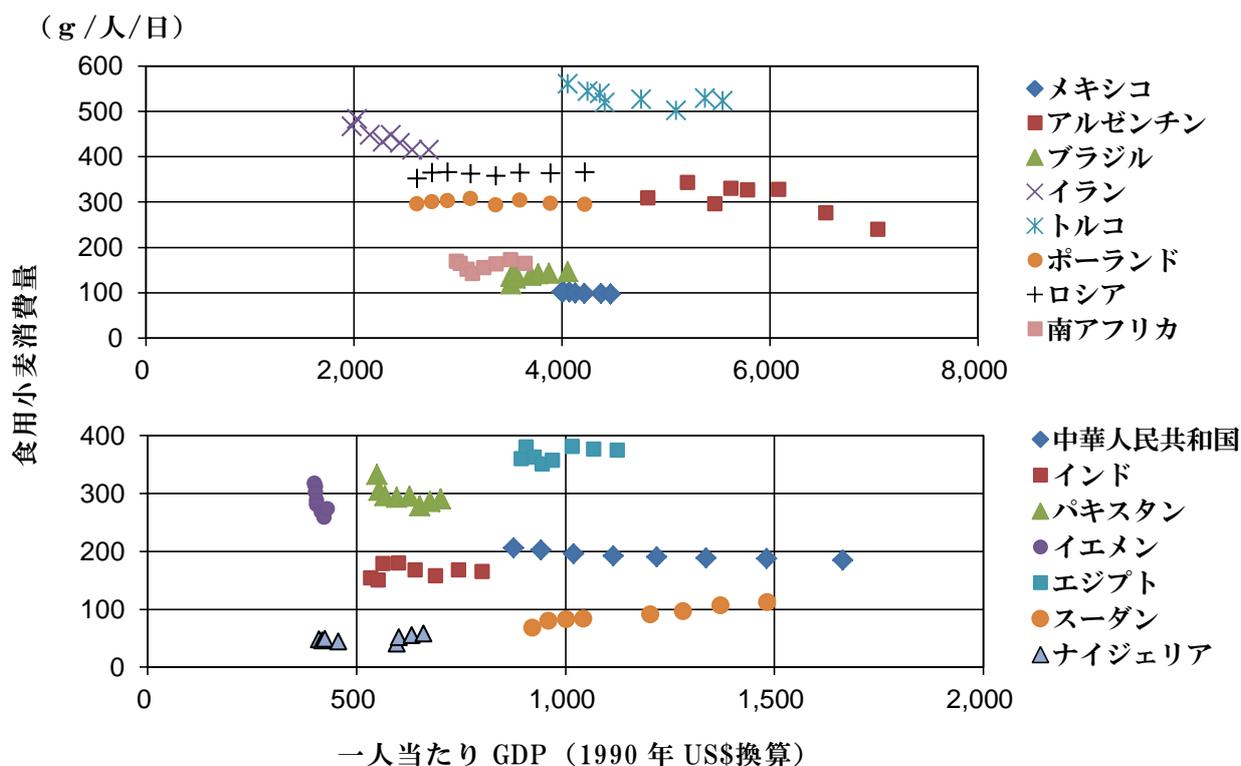
図 4.13 食用小麦消費量の地域別推移 (1970 年～2007 年)



国別に 2000 年～2007 年の「一人当たり小麦消費量 (g/人/日)」と「一人当たり GDP (1990 年 US\$換算)」の関係を分析すると両者には直線的な相関関係が認められる (図 4.14)

図 4.14 「一人当たり食用小麦消費量」と「一人当たり GDP(1990 年 US\$換算)」の関係 (2000 年～2007 年)





「食用小麦消費量（g/人/日）」と「一人当たりGDP（1990年US\$換算）」の関係には直線的な相関関係が認められることから、食用米（水田）の将来需要量の推計と同様に「食用小麦需要量（g/人/日）」の推計式を以下のとおり設定した。

- WS_{x年} : X年の一人当たり食用小麦需要量（g）
- WS₂₀₀₀ : 1995年～2005年間の平均一人当たり食用小麦消費量（g）
- G_{x年} : X年の一人当たりGDP（1990年US\$換算）
- G₂₀₀₀ : 2000年の一人当たりGDP（1990年US\$換算）
- Wa : 各国別の最小二乗法で求めた小麦直線近似式の傾き

$$WS_{x年} = Wa \times (G_{x年} - G_{2000}) + WS_{2000}$$

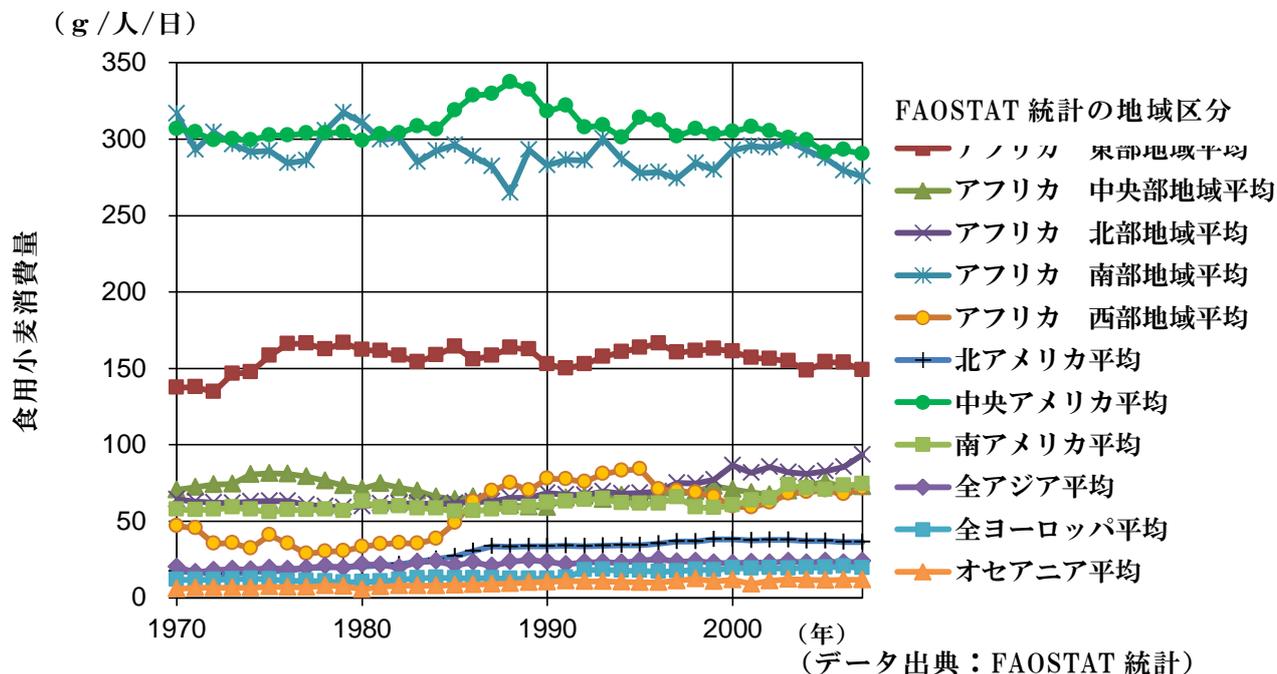
表 4.6 「食用小麦」需要量の推計計算値の上限値と下限値
(単位：g/人/日)

	上限値	下限値
小麦を主食とし、消費量が 250 g 以上	500	200
小麦を主食とし、消費量が 250 g 未満	300	150
主食ではなく、消費量が 175 g 以上	250	125
主食ではなく、消費量が 100～175 g	200	75
主食ではなく、消費量が 50～100 g	150	25
主食ではなく、消費量が 50 g 未満	100	0

4.2.5 「食用トウモロコシ」の将来需要量推計方法

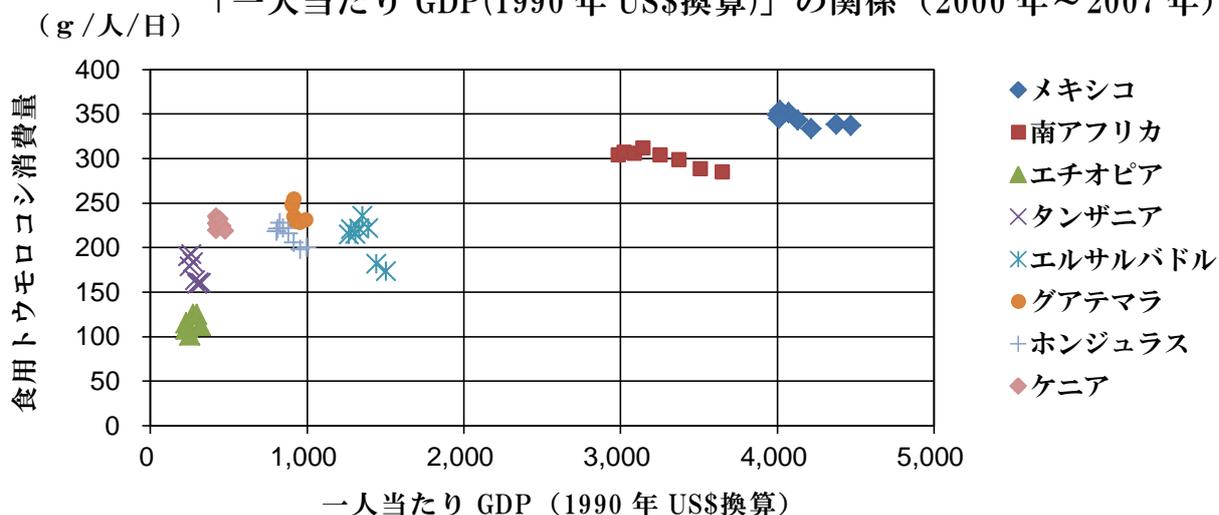
FAOSTAT 統計の地域区分毎の「食用トウモロコシ」の消費量 (g) の近年の傾向は、消費量大きい地域では減少傾向にあり、他の地域は横ばい傾向となっている (図 4.15)。

図 4.15 「食用トウモロコシ」消費量の地域別推移 (1970 年～2007 年)



国別に 2000 年～2007 年の「一人当たりトウモロコシ消費量 (g/人/日)」と「一人当たり GDP (1990 年 US\$換算)」の関係を分析すると両者には直線的な相関関係が認められる (図 4.16)

図 4.16 「一人当たり食用トウモロコシ消費量」と「一人当たり GDP(1990 年 US\$換算)」の関係 (2000 年～2007 年)



「食用トウモロコシ消費量 (g/人/日)」と「一人当たり GDP (1990 年 US\$換算)」の関係には直線的な相関関係が認められることから、食用米 (水田) の将来需要量の推計と同様に以下の推計式を設定した。

- $MS_{x年}$: X年の一人当たり食用トウモロコシ需要量 (g)
 MS_{2000} : 1995年～2005年の間の平均一人当たり食用トウモロコシ消費量 (g)
 $G_{x年}$: X年の一人当たり GDP (1990年 US\$換算)
 G_{2000} : 2000年の一人当たり GDP (1990年 US\$換算)
 Ma : 各国別の最小二乗法で求めたトウモロコシ直線近似式の傾き

$$MS_{x年} = Ma \times (G_{x年} - G_{2000}) + MS_{2000}$$

また、米 (水田) と同様に地域別に「食用トウモロコシ需要量 (g/人/日)」の上限値と下限値を設定した。

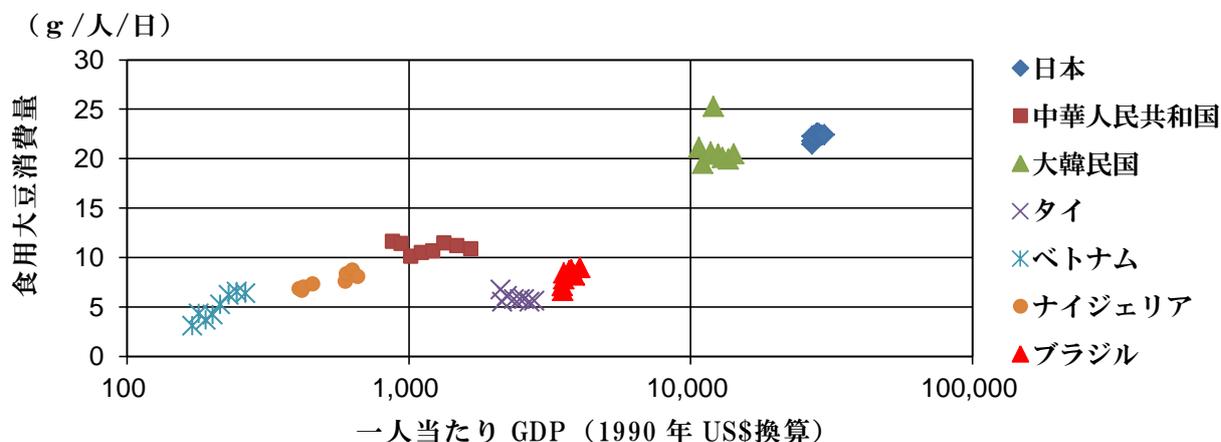
表 4.7 「食用トウモロコシ」需要量の推計計算値の上限値と下限値
(単位: g/人/日)

	上限値	下限値
トウモロコシを主食とし、消費量が 250 g 以上	450	200
トウモロコシを主食とし、消費量が 250 g 未満	300	150
トウモロコシが主食ではなく、消費量が 75 g 以上	125	50
トウモロコシが主食ではなく、消費量が 40～75 g	100	20
トウモロコシが主食ではなく、消費量が 20～40 g	60	10
トウモロコシが主食ではなく、消費量が 20 g 未満	40	0

4.2.6 「食用大豆」の将来需要量推計方法

大豆を食用としている国の数は少なく、かつ、消費量も小さい。また、国別に 2000 年～2007 年の「一人当たり大豆消費量（g/人/日）」と「一人当たり GDP（1990 年 US\$換算）」の関係を分析すると両者には直線的な相関関係が認められる（図 4.17）。

図 4.17 「一人当たり食用大豆消費量」と「一人当たり GDP(1990 年 US\$換算)」の関係（2000 年～2007 年）



「食用大豆消費量（g/人/日）」と「一人当たり GDP（1990 年 US\$換算）」の関係には直線的な相関関係が認められることから、食用米（水田）の将来需要量の推計と同様に以下の推計式を設定した。

- $BS_{x年}$: X年の一人当たり食用大豆需要量（g）
- BS_{2000} : 1995 年～2005 年間の平均一人当たり食用大豆消費量（g）
- $G_{x年}$: X年の一人当たり GDP（1990 年 US\$換算）
- G_{2000} : 2000 年の一人当たり GDP（1990 年 US\$換算）
- Ba : 各国別の最小二乗法で求めた大豆直線近似式の傾き

$$BS_{x年} = Ba \times (G_{x年} - G_{2000}) + BS_{2000}$$

また、米（水田）と同様に「食用大豆需要量（g/人/日）」の上限値と下限値を設定した。

表 4.8 「食用大豆」消費量の推計計算値の上限値と下限値
(単位：g/人/日)

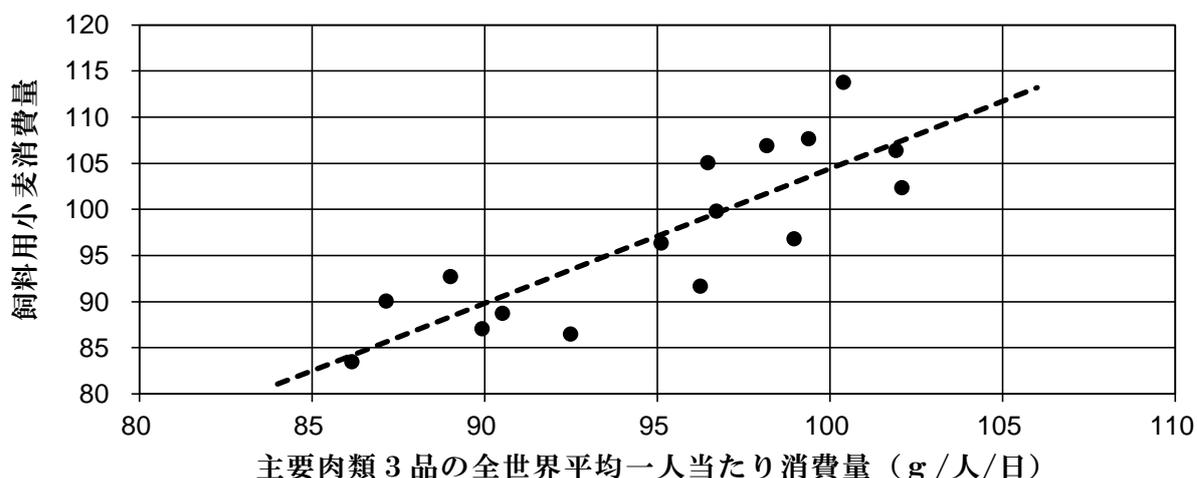
	上限値	下限値
日本、中華人民共和国、大韓民国	30	10
その他の国	15	0

4.3 「食用量」以外の主要農作物4品目の将来需要量推計方法

4.3.1 飼料用小麦の将来需要量推計方法

飼料用小麦の消費量は、肉類の消費量と関係があると考えられるので、「牛肉」「豚肉」「家禽」の主要肉類3品の全世界平均一人当たり消費量（g/人/日）との関係を分析した。

図 4.18 「主要肉類3品の全世界平均一人当たり消費量（g/人/日）」と「飼料用小麦消費量（百万トン）」の関係（1992年～2007年）



（データ出典：FAOSTAT 統計）

両者の関係は、ほぼ直線近似式で表すことができるので、飼料用小麦の将来需要量の推計式を以下のとおり設定した。

$FW_{X年}$: X年の飼料用小麦需要量（百万トン）

$MT_{X年}$: X年の主要肉類3品の全世界平均一人当たり消費量（g/人/日）

$$FW_{X年} = 1.461 \times MT_{X年} - 41.682$$

なお、「X年の主要肉類3品の全世界平均一人当たり消費量（g/人/日）」は、「牛肉」「豚肉」「家禽」の消費量を166か国の各国別に算出した将来推計値を合計して求めるが、その算出方法は次節（6.4）で述べる。

4.3.2 飼料用トウモロコシの将来需要量推計方法

飼料用トウモロコシの消費量は、1990年以降ほぼ直線的な増加をしている（図4.19）が、この消費量は、肉類の消費量と関係があると考えられるので、「牛肉」「豚肉」「家禽」の主要肉類3品の全世界平均一人当たり消費量（g/人/日）との関係を分析した（図4.20）。

図 4.19 「飼料用トウモロコシ」消費量の推移（1970年～2007年）

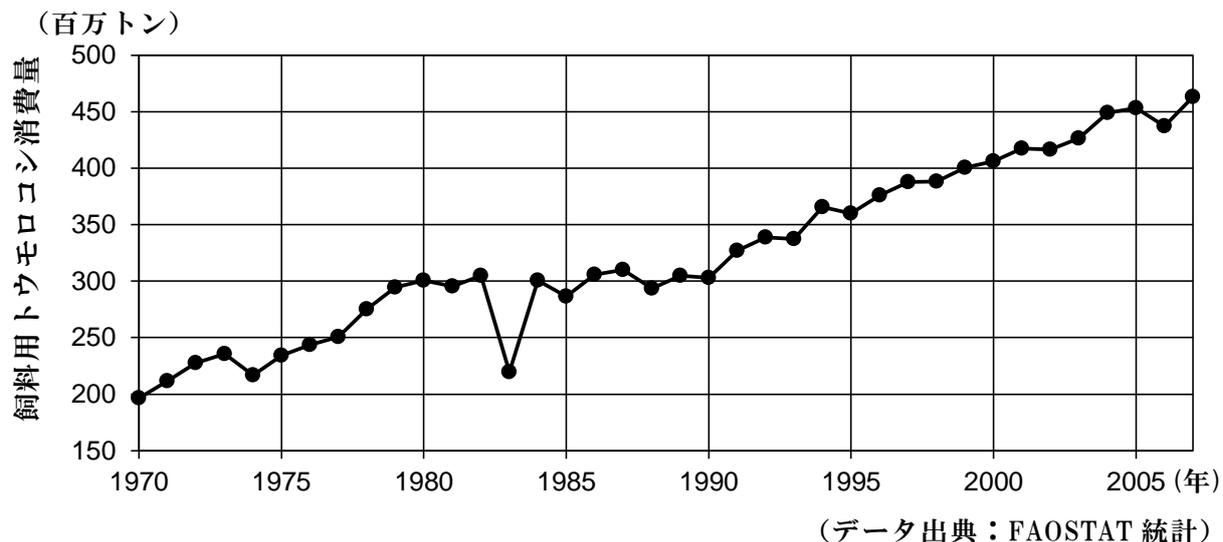
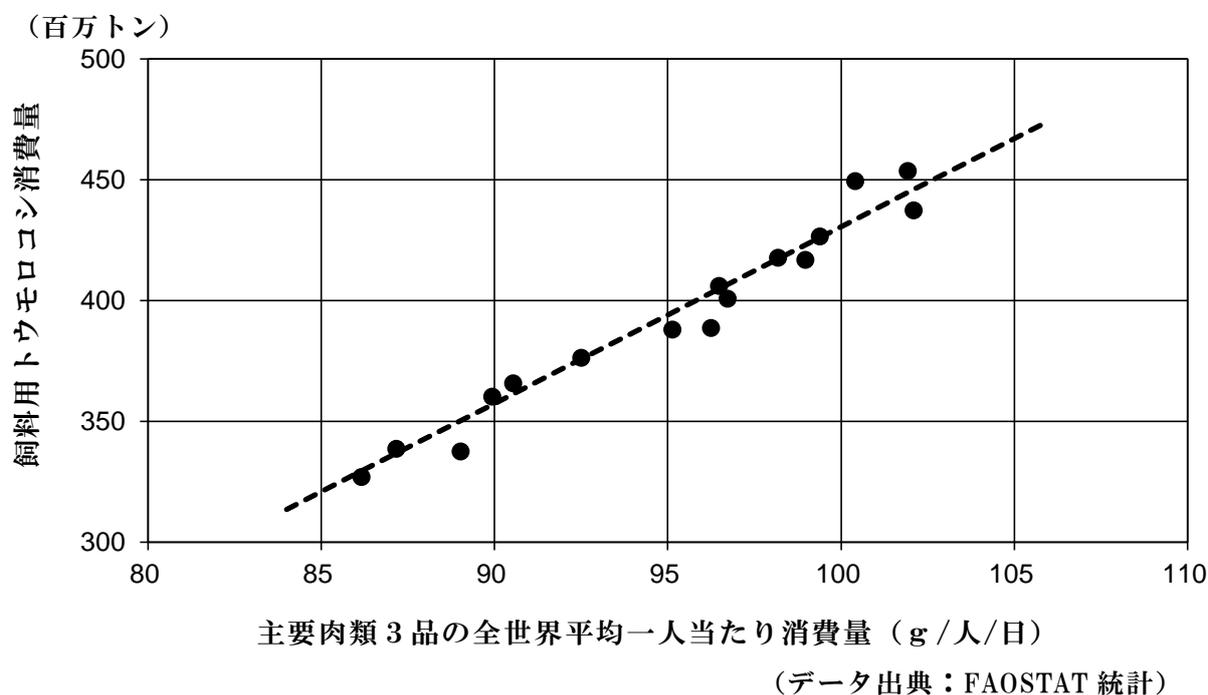


図 4.20 「主要肉類 3 品の全世界平均一人当たり消費量 (g/人/日)」と「飼料用トウモロコシ消費量 (百万トン)」の関係 (1992年～2007年)



両者の関係は、ほぼ直線近似式で表すことができるので、飼料用トウモロコシの将来消費量の推計式を以下のとおり設定した。

$FM_{X年}$: X年の飼料用トウモロコシの需要量 (百万トン)

$MT_{X年}$: X年の主要肉類 3 品の全世界平均一人当たり消費量 (g/人/日)

$$FM_{X年} = 7.305 \times MT_{X年} - 300.0$$

4.3.3 バイオ燃料用トウモロコシの将来需要量推計方法

バイオ燃料は、非化石系の CO2 排出に関して中立的なエネルギーとして注目され、近年、急速にその需要が増加しているところである。各国の動向については以下のとおりである。

1) アメリカ合衆国

2007 年 1 月ブッシュ大統領が行った一般教書演説で、「アメリカ合衆国内のガソリン消費を 10 年間で 20% 減少させ、バイオエタノールに代表される代替燃料に置き換える」と発表

計画	2012 年	28 百万 kl
	2017 年	132 百万 kl

アメリカ合衆国農務省は、トウモロコシ由来のバイオエタノールについて、2,800 万 kl (トウモロコシ約 90 百万ト) が上限と発表

(2006 年実績：トウモロコシ生産の 20% に当たる 54.6 百万トからエタノール 19 百万 kl を生産)

2) ブラジル

2006 年実績：サトウキビから 16.7 百万 kl のエタノールを生産。

3) 欧州

①EU

混合割合を 5.75% とする「バイオ燃料導入促進指令」
(2005 年実績：1.5%)

②ドイツ

2005 年実績：麦類 20 万トからバイオエタノールを生産。

③フランス

2005 年実績：舌甘菜等を中心に 10 万 kl のバイオエタノールを生産

4) I E A (International Energy Agency)

2015 年に 344 百万 kl の需要が生じると試算

バイオ燃料の将来動向については、なお不透明なところはあるが、トウモロコシ主体の生産を行っている国はアメリカ合衆国のみであり、他国では 4 品目以外からの生産が主体である。以上のことから、バイオ燃料用トウモロコシの将来消費量推計方法としては、以下の量を設定し生産量から先取することとしたが、2000 年の全世界のトウモロコシ輸入量総計 85.0 (百万トン) に相当する量であり、世界的な影響は非常に大きいと言える。

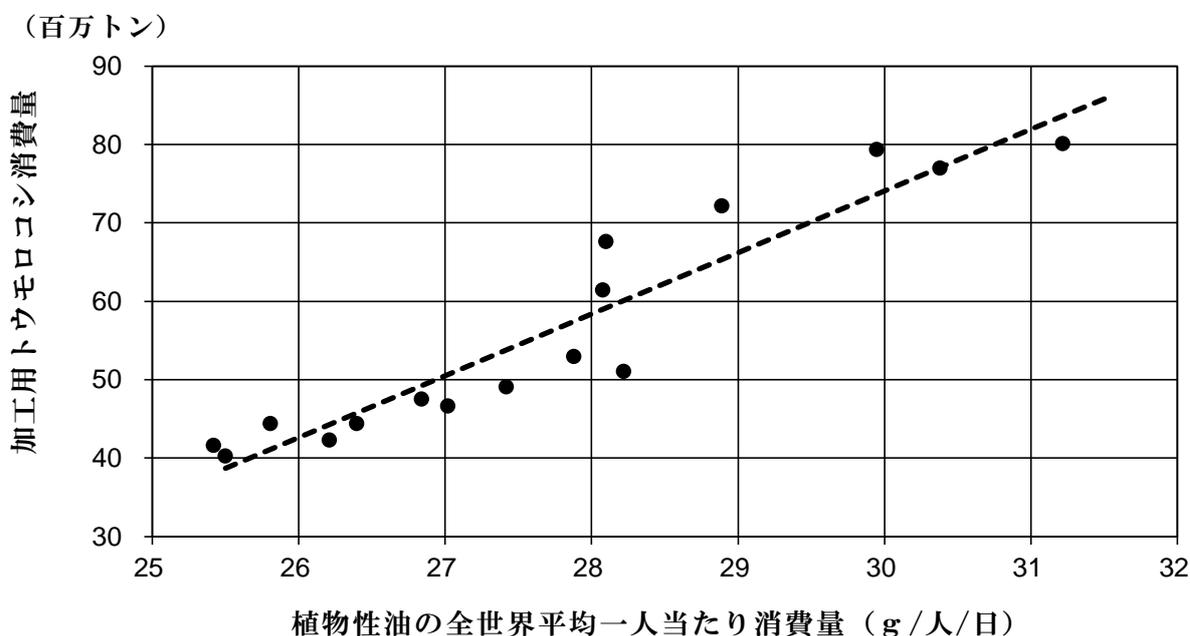
上位：アメリカ合衆国農務省の上限値であるトウモロコシ「90 百万トン」
(2005 年 全世界のトウモロコシ生産量の約 12.6% に相当)

中位：現在バイオ燃料に利用されているトウモロコシ「50 百万トン」
(2005 年 全世界のトウモロコシ生産量の約 7.0% に相当)

4.3.4 加工用トウモロコシの将来需要量推計方法

加工用トウモロコシの消費量は、コーンオイルなど植物性油の消費量と関係があると考えられるので、植物性油の全世界平均一人当たり消費量（g/人/日）との関係を分析する（図 4.21）。

図 4.21 「植物性油の全世界平均一人当たり消費量（g/人/日）」と「加工用トウモロコシ消費量（百万トン）」の関係（1992年～2007年）



（データ出典：FAOSTAT 統計）

両者の関係は、ほぼ直線近似式で表すことができるので、加工用トウモロコシの将来消費量の推計式を以下のとおり設定した。

$PM_{X年}$: X年の加工用トウモロコシの需要量（百万トン）

$VO_{X年}$: X年の植物性油の全世界平均一人当たり消費量（g/人/日）

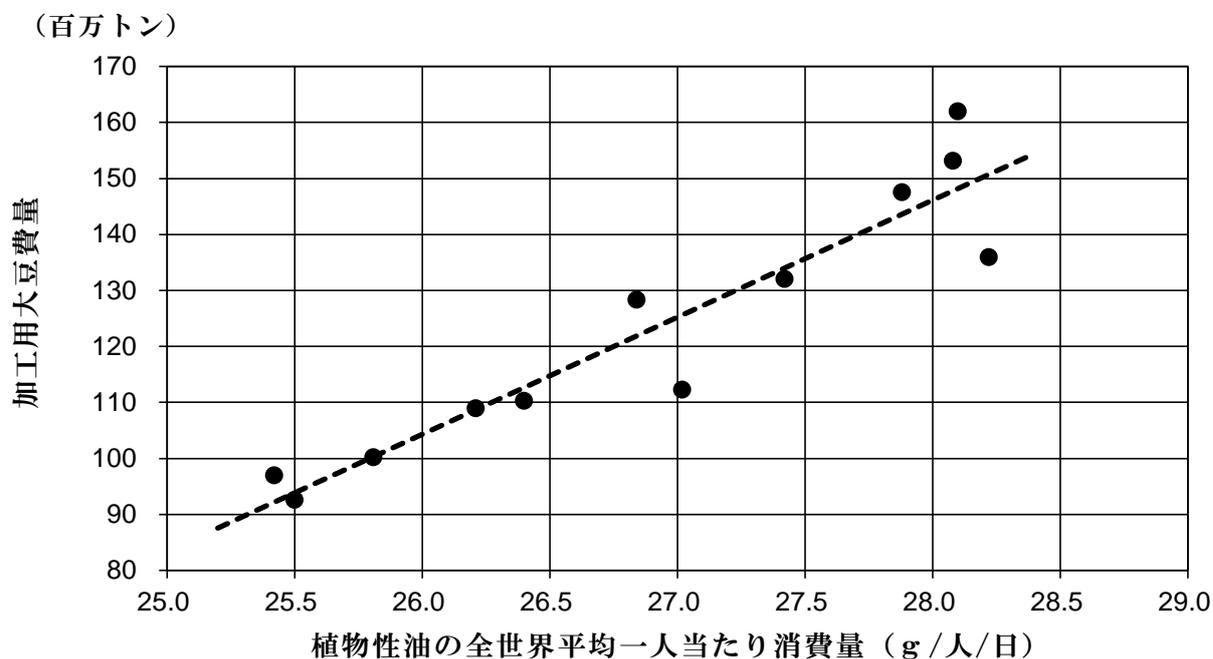
$$PM_{X年} = 7.851 \times VO_{X年} - 161.470$$

なお、「X年の植物性油の全世界平均一人当たり消費量（g/人/日）」は、166か国の各国別に算出した将来推計値を合計して求めるが、その算出方法は次節（6.4）で述べる。

4.3.5 加工用大豆の将来需要量推計方法

加工用大豆の消費量は、植物性油の消費量と関係があると考えられるので、植物性油の全世界平均一人当たり消費量（g/人/日）との関係を分析する（図 4.22）。

図 4.22 「植物性油の全世界平均一人当たり消費量（g/人/日）」と「加工用大豆消費量（百万トン）」の関係（1992年～2003年）



(データ出典：FAOSTAT 統計)

両者の関係は、ほぼ直線近似式で表すことができるので、加工用大豆の将来消費量の推計式を以下のとおり設定した。

$P B_{X年}$: X年の加工用大豆の需要量 (百万トン)

$V O_{X年}$: X年の植物性油の全世界平均一人当たり消費量 (g/人/日)

$$P B_{X年} = 20.91 \times V O_{X年} - 439.36$$

4.4 全食料消費カロリーによる4品目将来需要量のチェック

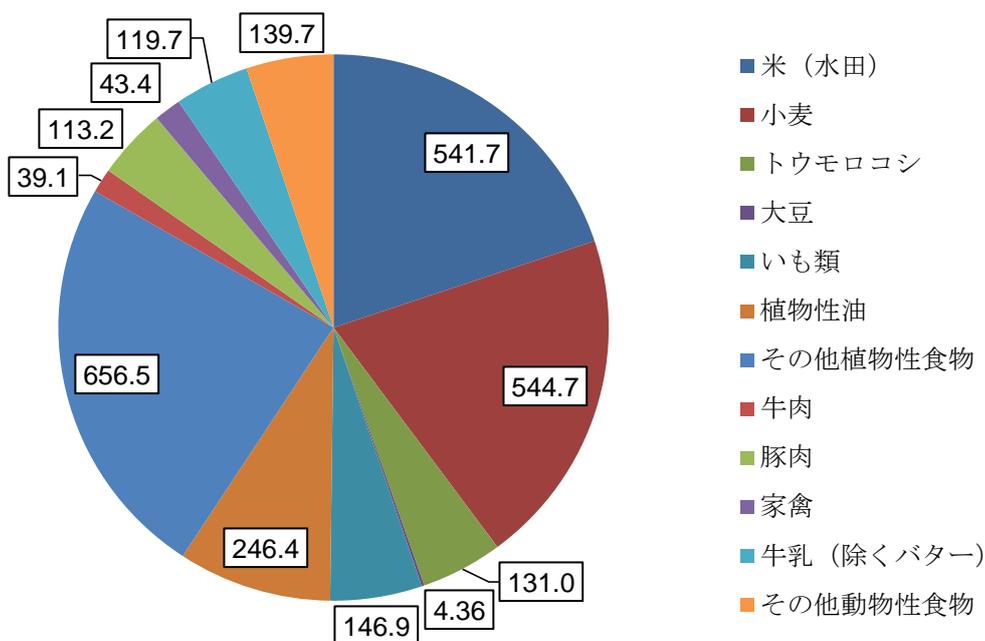
4.4.1 全食料消費カロリーの推計方法

FAOSTAT 統計には、多くの食品品目が掲載されているが、全食料消費カロリーを構成する食料の品目として主要な物を選別し、以下のとおり分類することとした。

表 4.9 全食料消費カロリーを構成する食品品目

植物性食品	動物性食品
米（水田）	牛肉
小麦	豚肉
トウモロコシ	家禽
大豆	牛乳（除くバター）
いも類	その他動物性食品
植物性油	
その他植物性食品	

図 4.23 2000年 全食料消費カロリー食品品目別内訳
 <世界平均一人当たり消費カロリー（Kcal/人/日）>



合計 2,726.6 Kcal/人/日

将来の一人当たり全食品消費カロリーの推計方法は、以下のとおりである。

- 1) 一物品目の消費量統計値が取得できない（掲載されていない）「その他植物性食物」と「その他動物性食物」以外の食物品目の将来消費量（g/人/日）を2000年～2007年の傾向値を基に、「6.2.3」で示した「米（水田）」と同様の方法で推計する。
- 2) 消費量（g/人/日）からFAOSTAT統計から逆算した地域別の「食品別カロリー換算表」（表4.10、表4.11）を適用して消費カロリー（Kcal/人/日）を計算する。
- 3) 一物品目の消費量統計値が取得できない（掲載されていない）「その他植物性食物」と「その他動物性食物」は、2000年～2007年の消費カロリー（Kcal/人/日）傾向値を基に、「米（水田）」と同様の方法で推計する。
- 4) 以上で推計した各国別の消費カロリー（Kcal/人/日）にその国の推計人口を乗じた値を合計し、それを全世界人口で除して「全世界平均一人当たり食品消費カロリー（Kcal/人/日）」を計算する。

表 4.10 地域別の「植物性食品別カロリー換算表」（単位：（Kcal/人/日）/100g）

	米 （水田）	小麦	トウモロコシ	大豆	いも類	植物性油
東アジア	253.4	320.2	281.1	353.1	84.6	880.4
東南アジア	236.1	266.5	260.2	368.4	97.8	883.0
南アジア	241.3	307.7	313.5	334.7	72.5	882.7
西アジア	247.0	280.0	303.1	168.7	70.5	877.3
中央アジア	237.8	275.9	285.2	200.0	67.0	885.1
オセアニア	232.4	293.5	294.7	210.0	64.8	866.8
東ヨーロッパ	238.0	281.9	277.5	280.7	66.9	878.9
北ヨーロッパ	252.8	276.7	307.2	172.1	65.0	903.1
南ヨーロッパ	246.9	262.5	291.2	290.6	65.2	881.8
西ヨーロッパ	256.3	276.1	256.9	258.8	67.0	881.1
北アメリカ	256.1	263.9	265.8	251.7	59.0	849.1
中央アメリカ	240.1	272.7	314.4	336.8	68.4	884.5
カリブ海アメリカ	242.3	273.4	340.7	317.3	89.6	884.6
南アメリカ	247.2	269.2	301.1	198.4	83.3	884.8
アフリカ 東部	245.5	299.7	318.3	390.6	97.8	882.2
アフリカ 中央部	243.8	285.4	329.8	377.5	105.6	883.1
アフリカ 北部	254.9	287.4	329.5	332.6	74.1	880.4
アフリカ 南部	239.5	298.4	313.2	333.8	75.4	883.4
アフリカ 西部	240.0	274.1	314.8	402.9	94.4	874.3

表 4.11 地域別の「動物性食品別カロリー換算表」(単位：(Kcal/人/日) /100g)

	牛肉	豚肉	家禽	牛乳 (除くバター)
東アジア	187.5	339.4	163.3	63.9
東南アジア	162.8	355.1	136.0	54.4
南アジア	145.6	339.1	129.5	57.2
西アジア	179.8	217.8	125.4	59.2
中央アジア	223.0	194.3	122.1	60.7
オセアニア	113.2	179.3	146.0	50.6
東ヨーロッパ	194.6	177.8	126.5	57.0
北ヨーロッパ	120.4	285.6	131.3	50.1
南ヨーロッパ	167.9	165.2	126.9	47.4
西ヨーロッパ	119.7	200.7	140.2	48.2
北アメリカ	101.6	161.1	143.6	53.0
中央アメリカ	122.8	301.4	137.8	56.0
カリブ海アメリカ	205.3	209.7	127.8	58.5
南アメリカ	168.2	250.0	151.3	58.7
アフリカ 東部	194.8	373.1	133.2	61.2
アフリカ 中央部	180.8	326.1	122.2	65.5
アフリカ 北部	169.0	290.0	134.3	63.5
アフリカ 南部	219.2	363.6	145.8	59.0
アフリカ 西部	184.6	305.9	96.4	63.8

4.4.2 主要農産物 4 品目以外の食品の上限値、下限値の設定

CIESIN の「A1 シナリオ一人当たり GDP(1990 年 US\$換算)」は、大きな伸び率を設定している国が多く、推計計算値が極端な値となる国もあることから、以下とおり地域別に主要農産物 4 品目以外の食品消費量 (g/人/日) 又は消費カロリー (Kcal/人/日) の上限値と下限値を設定した。

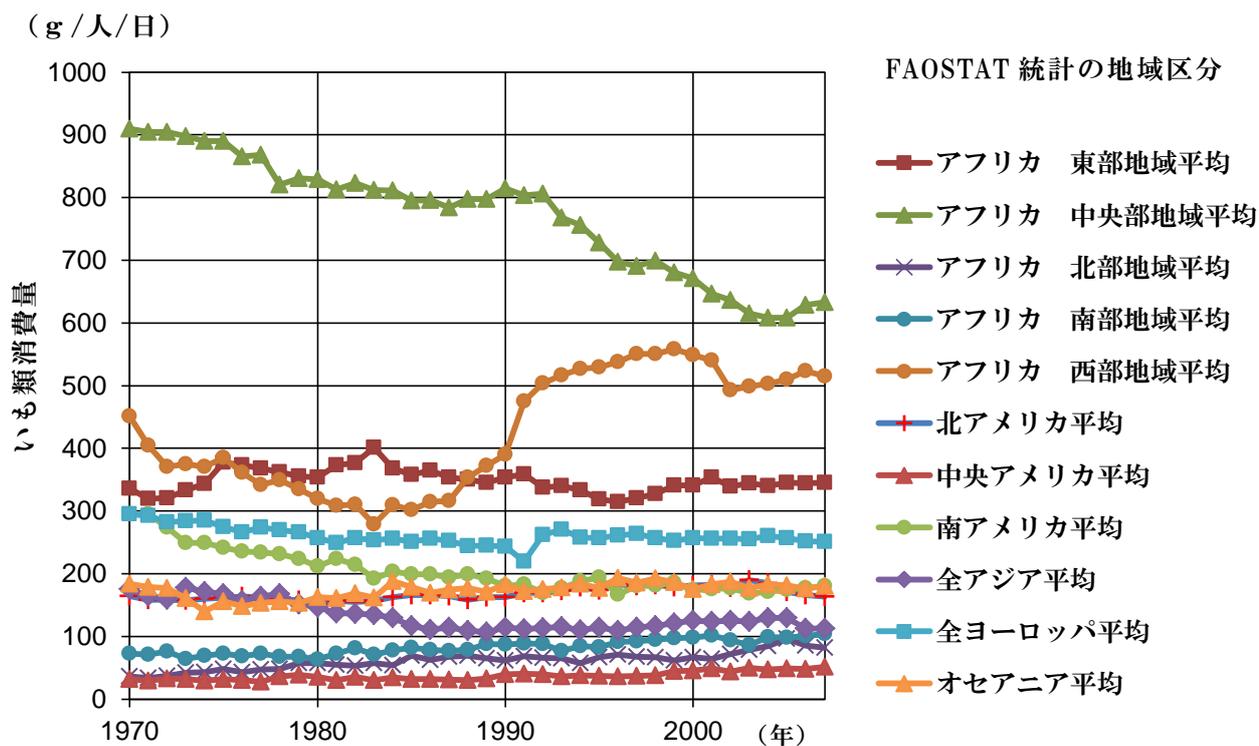
(1) いも類

アフリカの東部地域や西部地域の中には、「いも類」の消費量が多い国がいくつかある。

表 4.12 「いも類」消費量の推計計算値の上限値と下限値
(単位：g/人/日)

	上限値	下限値
2000 年の消費量 0 ~ 100 (g/人/日)	150	0
2000 年の消費量 100 ~ 200 (g/人/日)	300	50
2000 年の消費量 200 ~ 400 (g/人/日)	500	100
2000 年の消費量 400 ~ 700 (g/人/日)	800	200
2000 年の消費量 700 以上 (g/人/日)	1000	350

図 4.24 「いも類」消費量の地域別推移 (1970 年～2007 年)



(データ出典：FAOSTAT 統計)

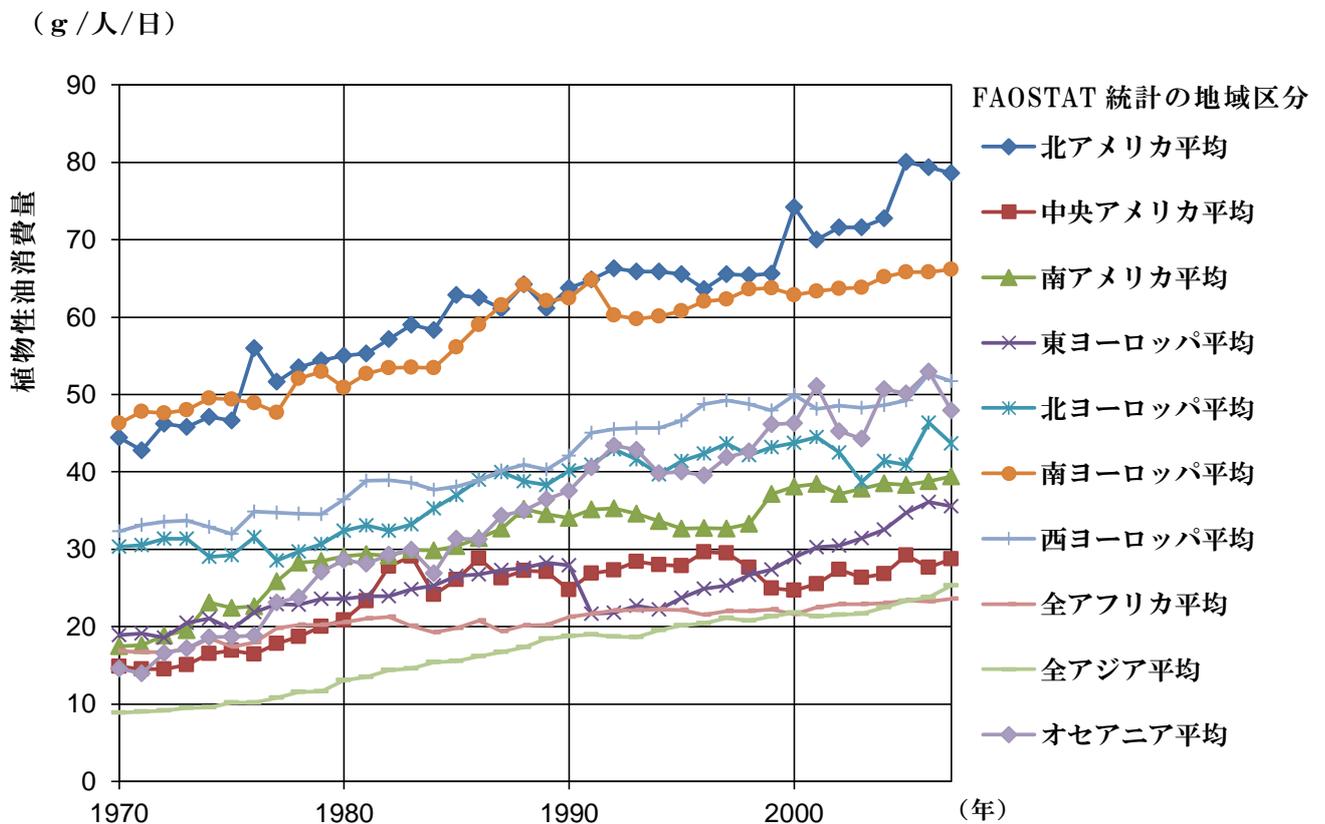
(2) 植物性油

植物性油は、全世界のほとんどの地域で微増傾向にある。

表 4.13 「植物性油」消費量の推計計算値の上限値と下限値
(単位：g/人/日)

	上限値	下限値
2000年消費量 20 (g/人/日)未満の国	40	5
2000年消費量 20 ~ 30 (g/人/日)の国	50	10
2000年消費量 30 ~ 40 (g/人/日)の国	60	15
2000年消費量 40 ~ 50 (g/人/日)の国	70	20
2000年消費量 50 ~ 60 (g/人/日)の国	80	25
2000年消費量 60 (g/人/日)以上の国	90	30

図 4.25 「植物性油」消費量の地域別推移 (1970年~2007年)



(データ出典：FAOSTAT 統計)

(3) その他植物性食物の消費カロリー

一物品目の消費量統計値が取得できない(掲載されていない)「その他植物性食物」の消費カロリー (Kcal/人/日) と「一人当たり GDP (1990年 US\$換算)」の関係には直線的な相関関係が認められることから、2000年～2007年のデータを用いて対象166か国の各国別に最小二乗法で求めた直線近似式の傾き(一人当たり GDP 単位当たりの増減量) から計算することとした。

図 4.26 「その他植物性食物の消費カロリー」と「一人当たり GDP(1990年 US\$換算)」の関係 (2000年～2007年)

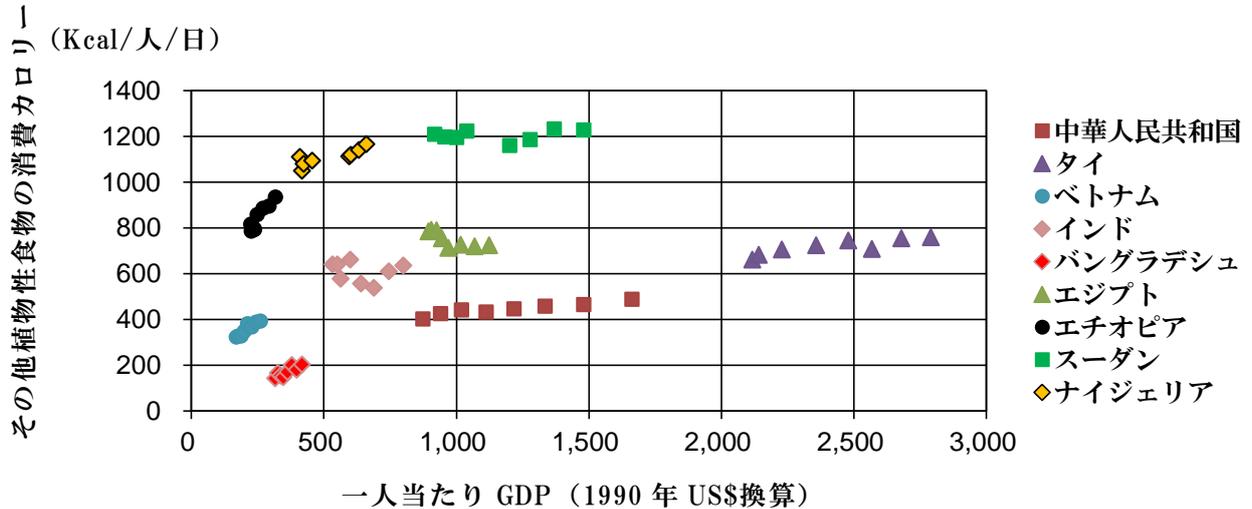


表 4.14 「その他植物性食物」の消費カロリーの推計計算値の上限値と下限値 (単位: Kcal/人/日)

	上限値	下限値
2000年の消費カロリー 200未満 (kcal/人/日)	300	50
2000年の消費カロリー 200～400 (kcal/人/日)	500	100
2000年の消費カロリー 400～600 (kcal/人/日)	700	300
2000年の消費カロリー 600～800 (kcal/人/日)	900	400
2000年の消費カロリー 800～1000 (kcal/人/日)	1200	600
2000年の消費カロリー 1000以上 (kcal/人/日)	1400	800

(4) 牛肉

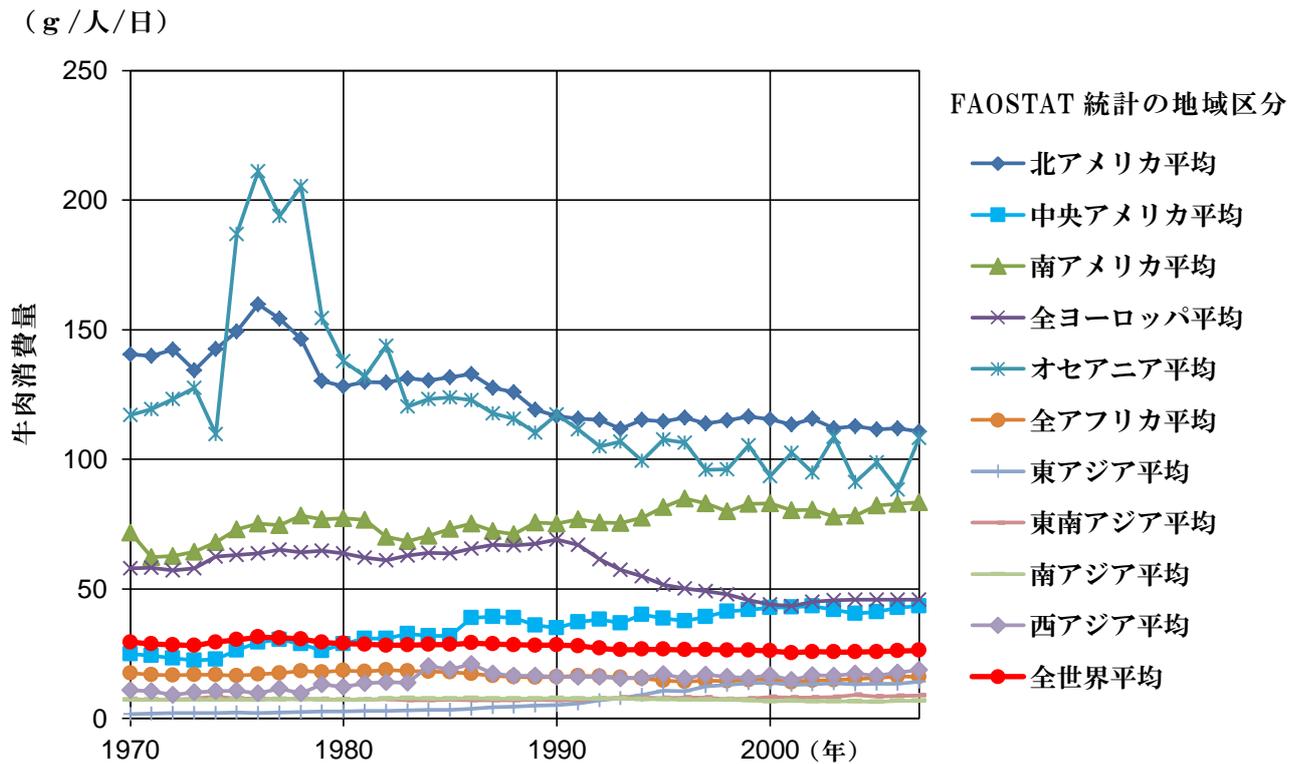
牛肉消費量の大きい「北アメリカ」「ヨーロッパ」「オセアニア」の消費量は、近年横ばい傾向にある。その他地域の消費量は増加傾向にあるが、増加量は小さい(図4.27)。

このような現状の傾向と発展途上国の中には CIESIN の GDP の伸び率が非常に大きな国があること、また、日本の 2000 年消費量が 31.1 (g/人/日)であることを考慮して「牛肉」消費量の上限値と下限値を表 4.15 のように設定した。

表 4.15 「牛肉」消費量の推計計算値の上限値と下限値
(単位：g/人/日)

	上限値	下限値
2000年の消費量 0～10 (g/人/日)	30	0
2000年の消費量 10～20 (g/人/日)	40	5
2000年の消費量 20～30 (g/人/日)	50	10
2000年の消費量 30～40 (g/人/日)	60	20
2000年の消費量 40～50 (g/人/日)	75	30
2000年の消費量 50～75 (g/人/日)	100	40
2000年の消費量 75～100 (g/人/日)	125	50
2000年の消費量 100以上 (g/人/日)	150	50

図 4.27 「牛肉」消費量の地域別推移 (1970年～2007年)



(データ出典：FAOSTAT 統計)

(5) 豚肉

「西ヨーロッパ」は減少傾向、「南北アメリカ」と「ヨーロッパの他地域」は横ばいないしは微増の傾向にあるが、他の地域は増加傾向にある。特に、「東アジア」主要国の2000年の消費量(g/人/日)は、日本が約50、中華人民共和国が約90、大韓民国が約65と大きい。さらに、タイ、ベトナムの消費量も増加傾向にある。「アフリカ諸国」は、全般に消費量の少ない国が多い。また、イスラム国家は、宗教上の理由から豚肉の消費量が皆無又は非常に小さくなっている。

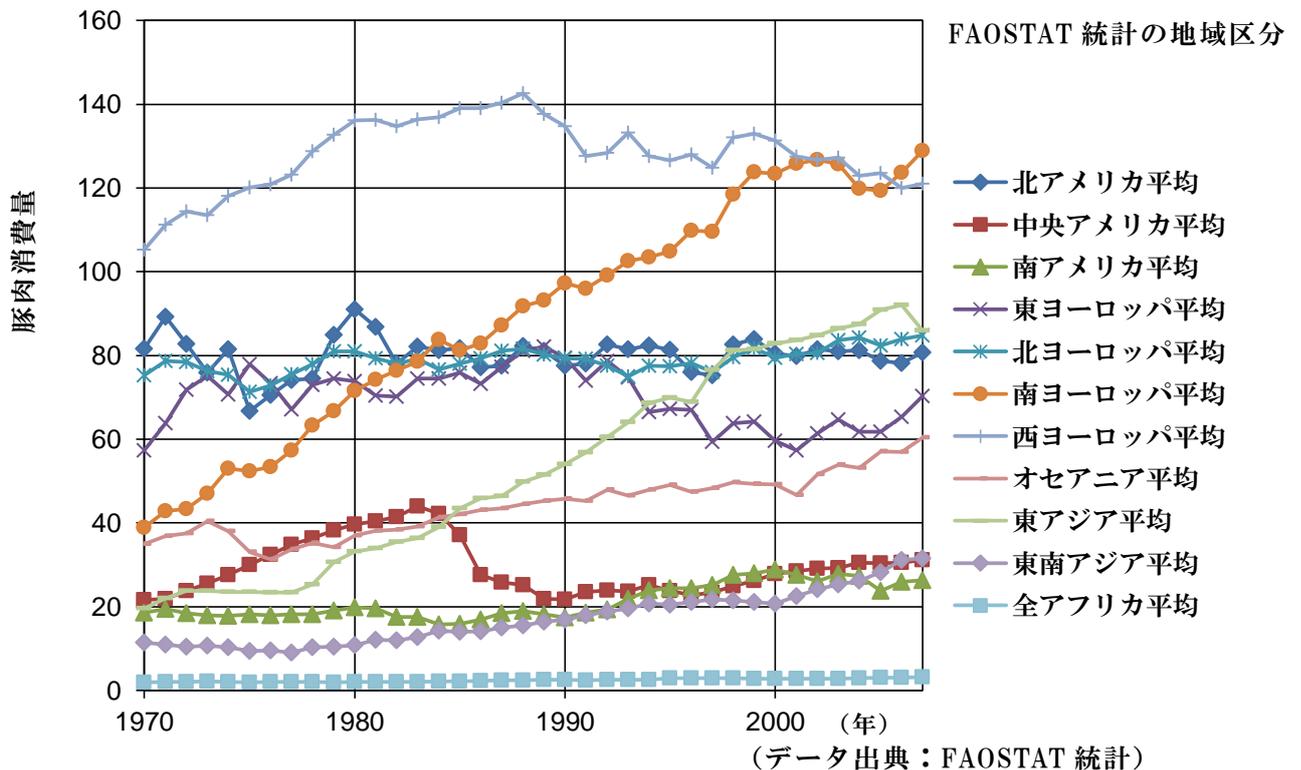
このような現状を考慮して、消費量の上限値と下限値を表4.16のように設定した。

表 4.16 「豚肉」消費量の推計計算値の上限値と下限値
(単位：g/人/日)

	上限値	下限値
2000年の消費量 0～10 (g/人/日)	25	0
2000年の消費量 10～25 (g/人/日)	50	10
2000年の消費量 25～50 (g/人/日)	100	15
2000年の消費量 50～75 (g/人/日)	125	25
2000年の消費量 75～125 (g/人/日)	150	50
2000年の消費量 125以上 (g/人/日)	200	100

図 4.28 「豚肉」消費量の地域別推移 (1970年～2007年)

(g/人/日)



(6) 家禽

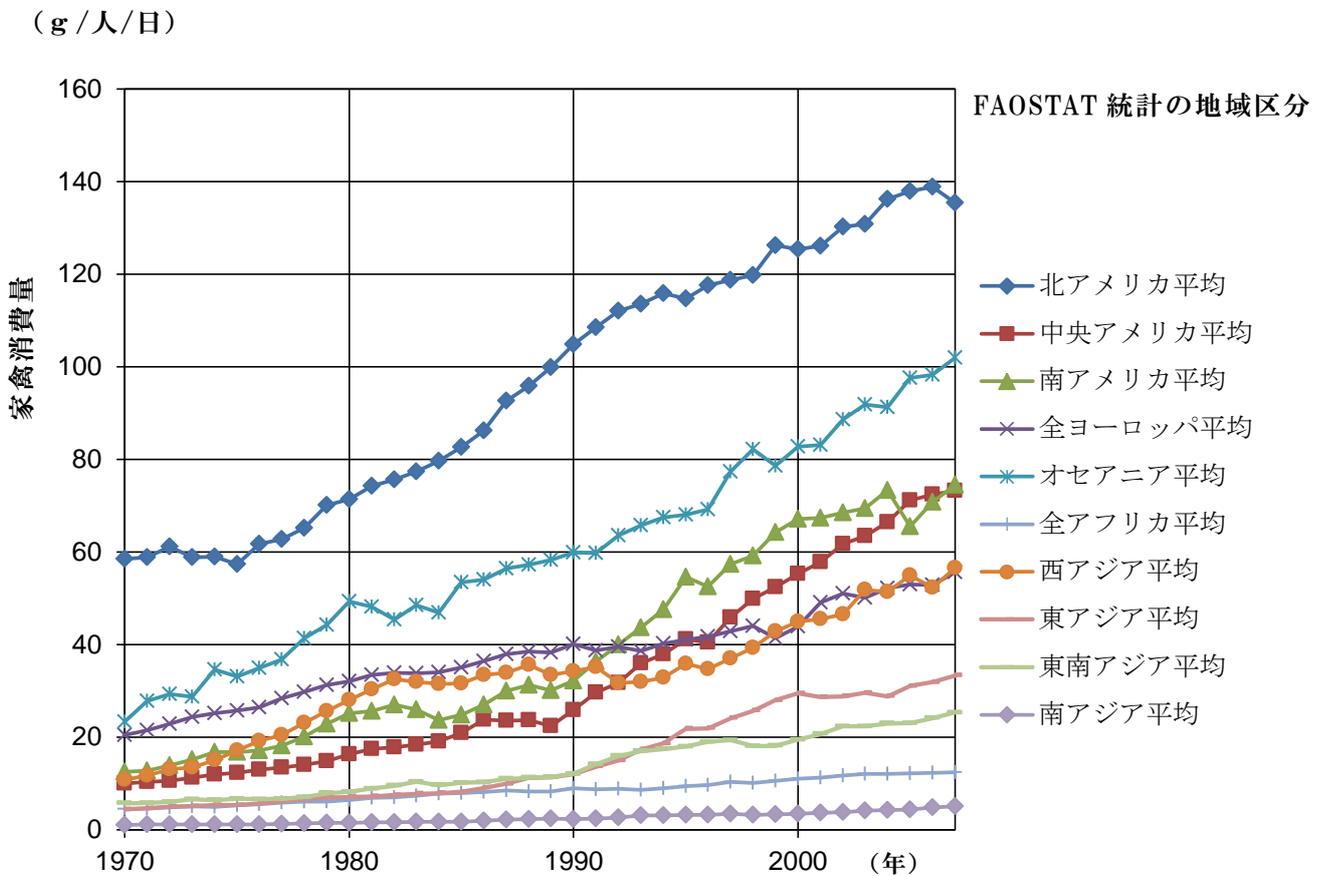
全世界的に増加傾向にあるが、「オセアニア」「中央アメリカ」「西アジア」の増加傾向が大きい。一方、消費量の小さい地域では、増加傾向も小さくなっている。

このような現状を考慮して、消費量の上限値と下限値を表 4.17 のように設定した。

表 4.17 「家禽」消費量の推計計算値の上限値と下限値
(単位：g/人/日)

	上限値	下限値
2000年の消費量 0～10 (g/人/日)	25	0
2000年の消費量 10～25 (g/人/日)	50	10
2000年の消費量 25～50 (g/人/日)	100	15
2000年の消費量 50～75 (g/人/日)	125	25
2000年の消費量 75～125 (g/人/日)	150	50
2000年の消費量 125以上 (g/人/日)	200	100

図 4.29 「家禽」消費量の地域別推移 (1970年～2007年)



(データ出典：FAOSTAT 統計)

(7) 牛乳 (除くバター)

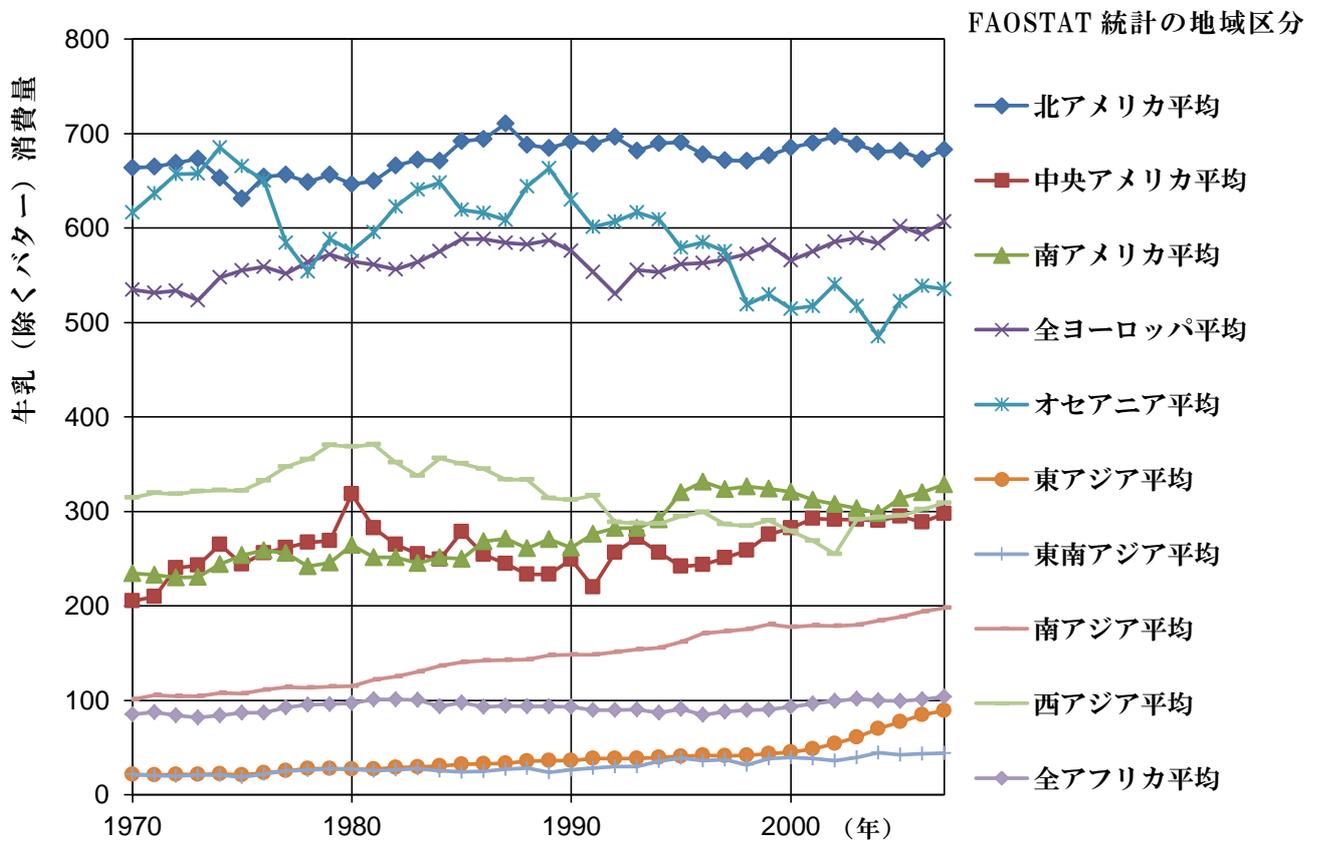
「南アジア」と「東アジア」が増加傾向にあるが、他地域は横ばい傾向である。

表 4.18 「牛乳 (除くバター)」消費量の推計計算値の上限値と下限値
(単位：g/人/日)

	上限値	下限値
2000年の消費量 0 ~ 100 (g/人/日)	200	0
2000年の消費量 100 ~ 200 (g/人/日)	300	50
2000年の消費量 200 ~ 400 (g/人/日)	500	100
2000年の消費量 400 ~ 600 (g/人/日)	700	200
2000年の消費量 600以上 (g/人/日)	800	300

図 4.30 「牛乳 (除くバター)」消費量の地域別推移 (1970年~2007年)

(g/人/日)



(データ出典：FAOSTAT 統計)

(8) その他動物性食物の消費カロリー

一物品目の消費量統計値が取得できない(掲載されていない)「その他動物性食物」の消費カロリー (Kcal/人/日) と「一人当たり GDP (1990 年 US\$換算)」の関係には直線的な相関関係が認められることから、2000 年～2007 年のデータを用いて対象 166 か国の各国別に最小二乗法で求めた直線近似式の傾き(一人当たり GDP 単位当たりの増減量) から計算することとした。

図 4.31 「その他動物性食物」と「一人当たり GDP(1990 年 US\$換算)」の関係 (2000 年～2007 年)

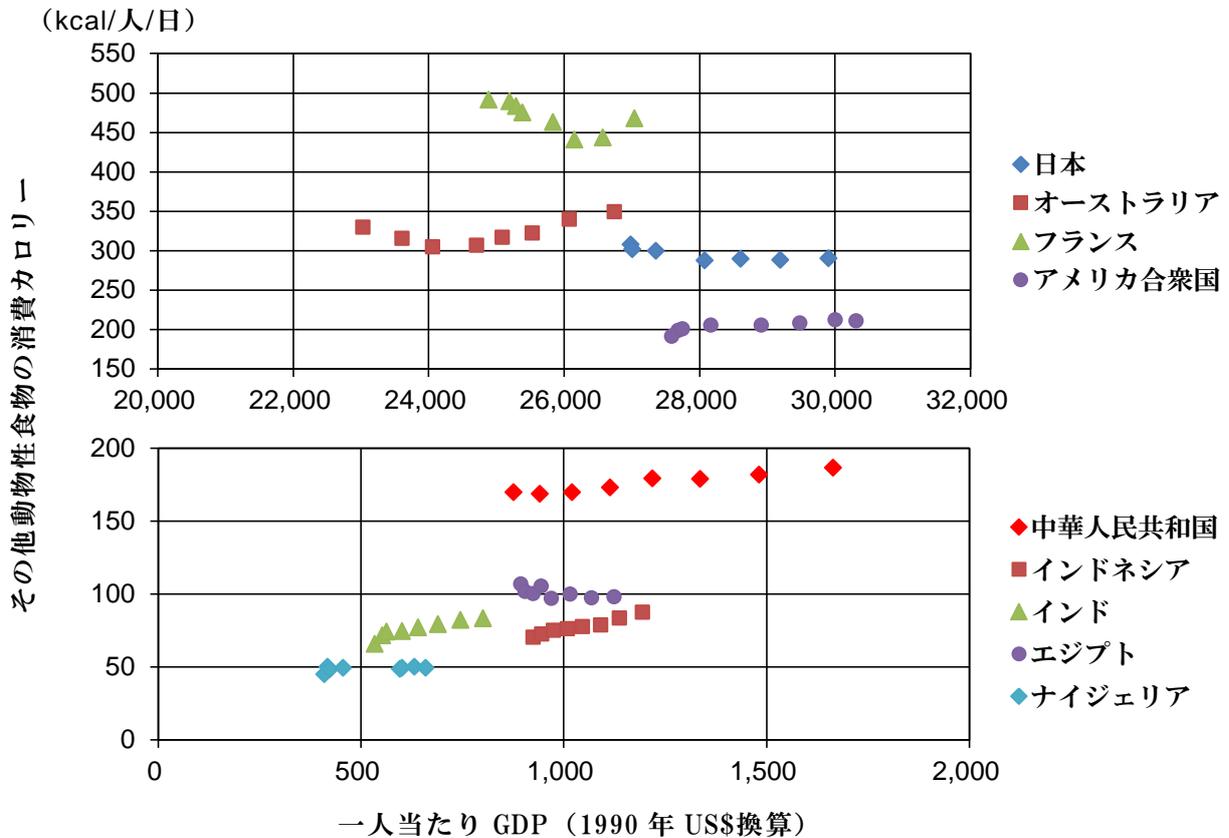


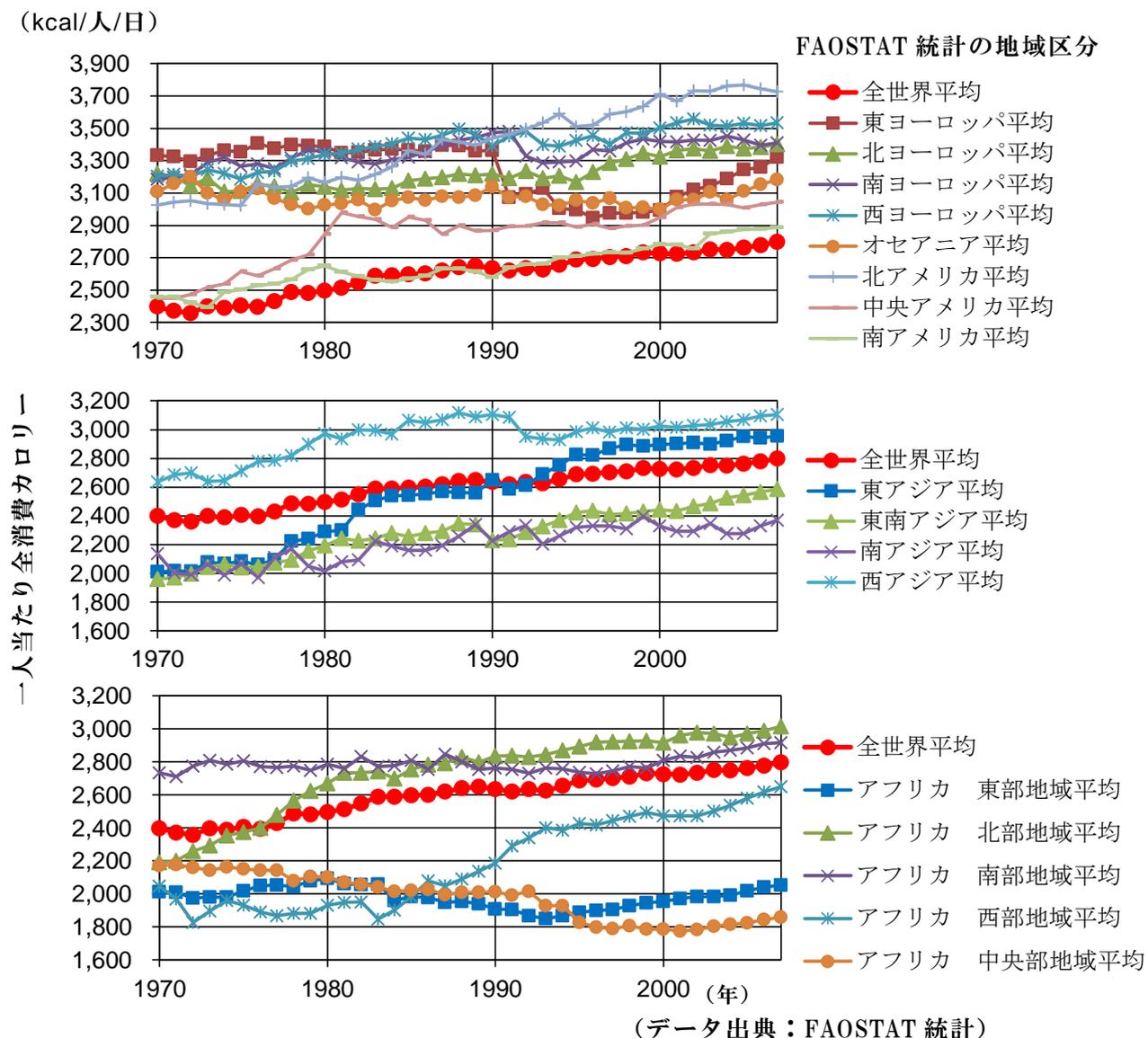
表 4.19 「その他動物性食物」消費量の推計計算値の上限値と下限値 (単位: Kcal/人/日)

	上限値	下限値
2000 年の消費カロリー 0～ 100 (kcal/人/日)	200	20
2000 年の消費カロリー 100～ 200 (kcal/人/日)	300	50
2000 年の消費カロリー 200～ 300 (kcal/人/日)	400	100
2000 年の消費カロリー 300～ 400 (kcal/人/日)	500	200
2000 年の消費カロリー 400～ 600 (kcal/人/日)	700	300
2000 年の消費カロリー 600 以上 (kcal/人/日)	800	500

4.4.3 全消費カロリーによる推計の妥当性のチェック

CIESINの「A1シナリオ一人当たりGDP(1990年US\$換算)」は、大きな伸び率を設定している国が多く、推計計算値が極端な値となる国もあることから、食物別に消費量又は消費カロリーの上限値と下限値を設定したが、それでも全消費カロリーが大きな値となる可能性があることから、全消費カロリーで推計の妥当性をチェックした。

図 4.32 一人当たり全消費カロリーの地域別推移 (1970年～2007年)

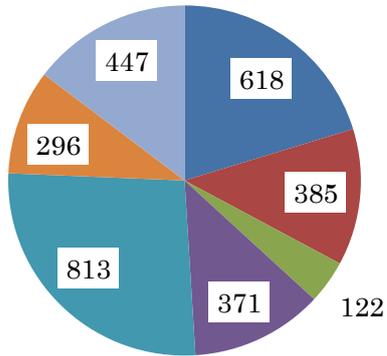


上記を踏まえ、全消費カロリーのチェック値は、2000年が3,000 (Kcal/人/日)以上の国では4,000 (Kcal/人/日)、他の国では3,500 (Kcal/人/日)とした。

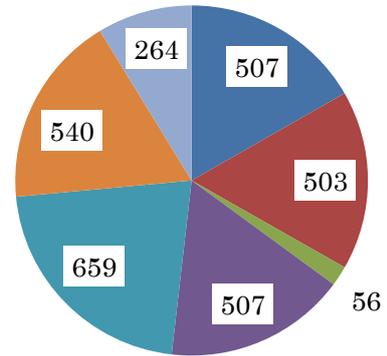
結果は、ロシア、カザフスタン、マケドニア共和国、ウルグアイ、モーリシャスの5か国がチェック値を超えたが、超過カロリーは約300 (Kcal/人/日)で小麦に換算すると一人当たり100 (g/人/日)と少量であることから、本推計計算の条件設定は妥当であると言える。

図 4.33 主な国の推計消費カロリー

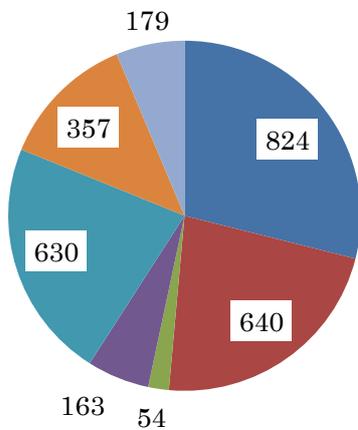
日本 2000年
合計 3,052 (Kcal/人/日)



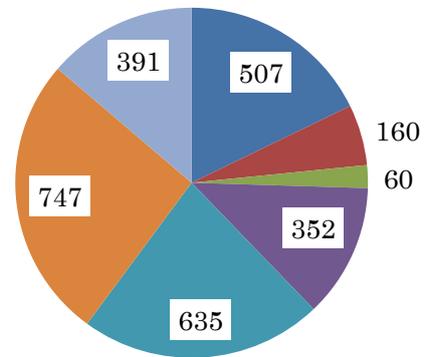
日本 2050年
合計 3,037 (Kcal/人/日)



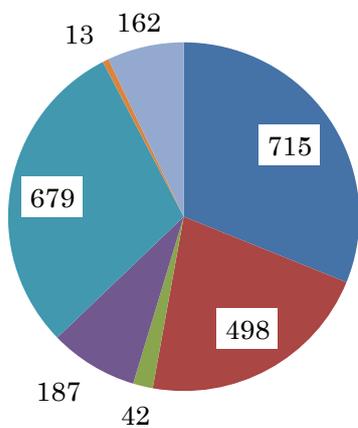
中華人民共和国 2000年
合計 2,874 (Kcal/人/日)



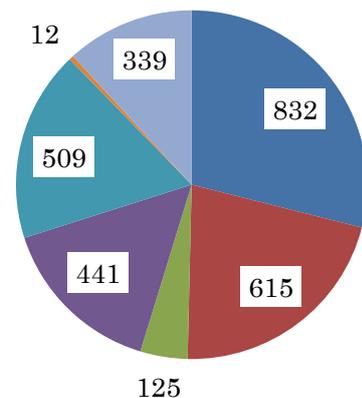
中華人民共和国 2050年
合計 2,852 (Kcal/人/日)



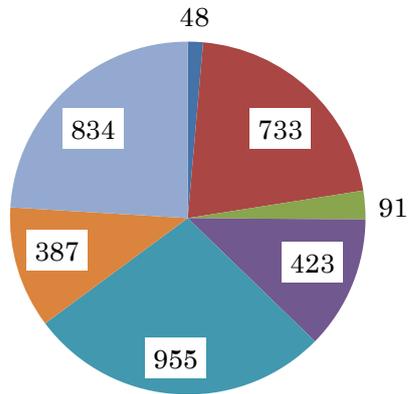
インド 2000年
合計 2,296 (Kcal/人/日)



インド 2050年
合計 2,873 (Kcal/人/日)

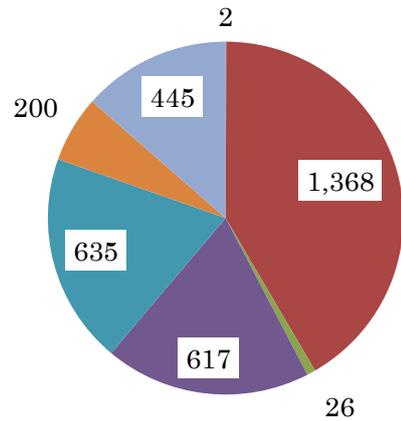


フランス 2000年
合計 3,471 (Kcal/人/日)

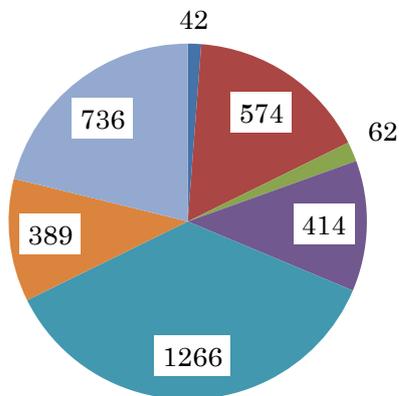


- 米(水田)
- 小麦
- トウモロコシ
- 植物油
- その他植物性
- 肉類3品合計
- その他動物性

フランス 2050年
合計 3,293 (Kcal/人/日)

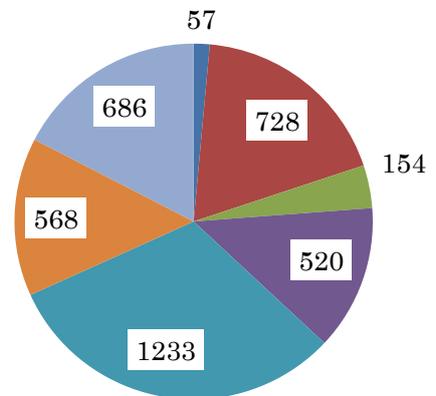


ドイツ 2000年
合計 3,483 (Kcal/人/日)

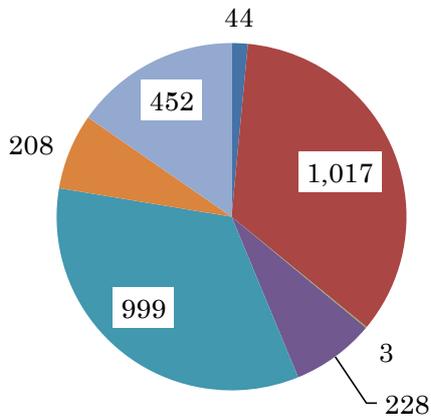


- 米(水田)
- 小麦
- トウモロコシ
- 植物油
- その他植物性
- 肉類3品合計
- その他動物性

ドイツ 2050年
合計 3,946 (Kcal/人/日)

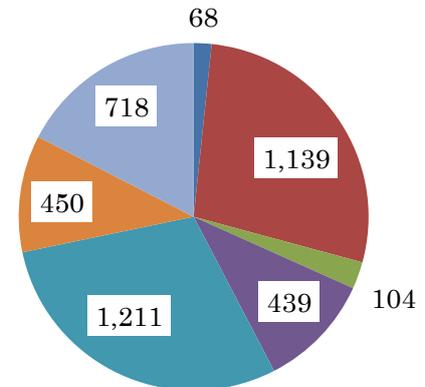


ロシア 2000年
合計 2,951 (Kcal/人/日)

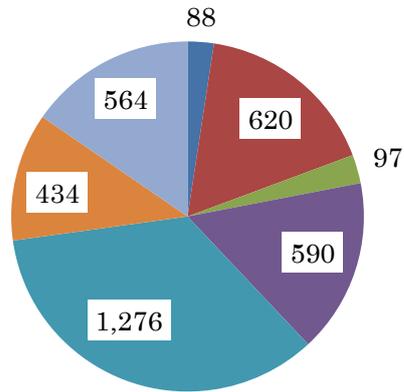


- 米(水田)
- 小麦
- トウモロコシ
- 植物油
- その他植物性
- 肉類3品合計
- その他動物性

ロシア 2050年
合計 4,129 (Kcal/人/日)

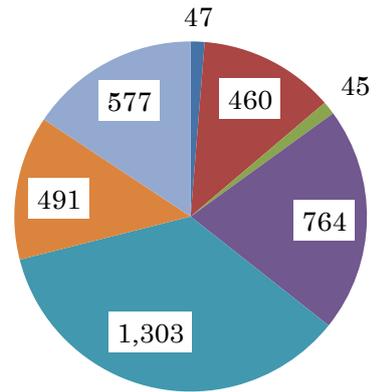


アメリカ合衆国 2000年
合計 3,669 (Kcal/人/日)

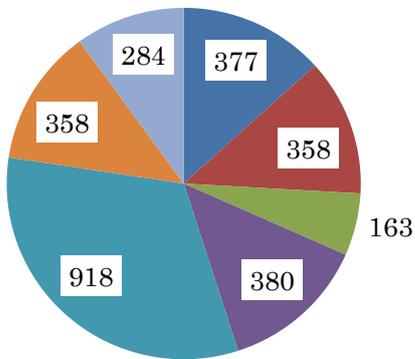


- 米(水田)
- 小麦
- トウモロコシ
- 植物油
- その他植物性
- 肉類3品合計
- その他動物性

アメリカ合衆国 2050年
合計 3,687 (Kcal/人/日)

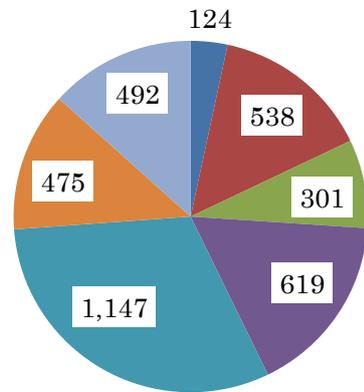


ブラジル 2000年
合計 2,838 (Kcal/人/日)

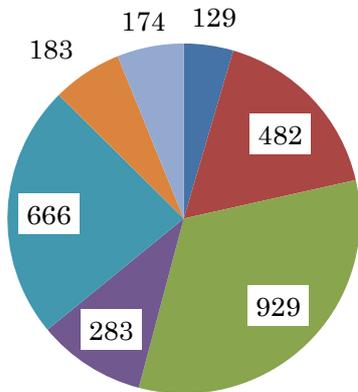


- 米(水田)
- 小麦
- トウモロコシ
- 植物油
- その他植物性
- 肉類3品合計
- その他動物性

ブラジル 2050年
合計 3,696 (Kcal/人/日)

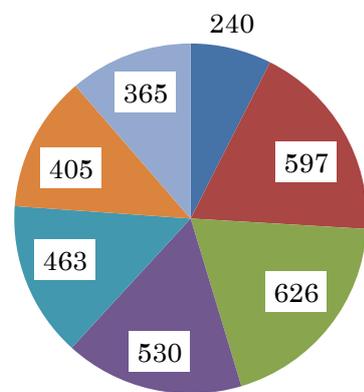


南アフリカ 2000年
合計 2,846 (Kcal/人/日)



- 米(水田)
- 小麦
- トウモロコシ
- 植物油
- その他植物性
- 肉類3品合計
- その他動物性

南アフリカ 2050年
合計 3,226 (Kcal/人/日)

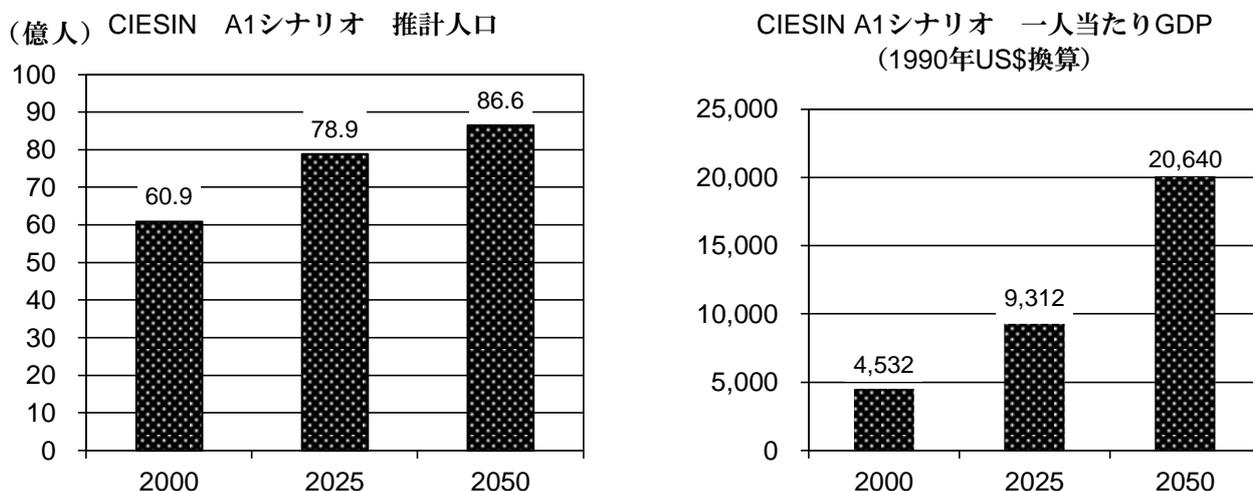


4.5 主要農作物4品目の将来需要量

4.5.1 「CIESIN A1 シナリオ」の人口と一人当たり GDP の推計

「CIESIN A1 シナリオ」の推計人口と一人当たり GDP（1990年 US\$換算）の推計値は、図 4.34 の通りであるが、人口については、2025年/2000年の伸び率 1.30 倍、2050年/2000年の伸び率 1.42 倍となっている。

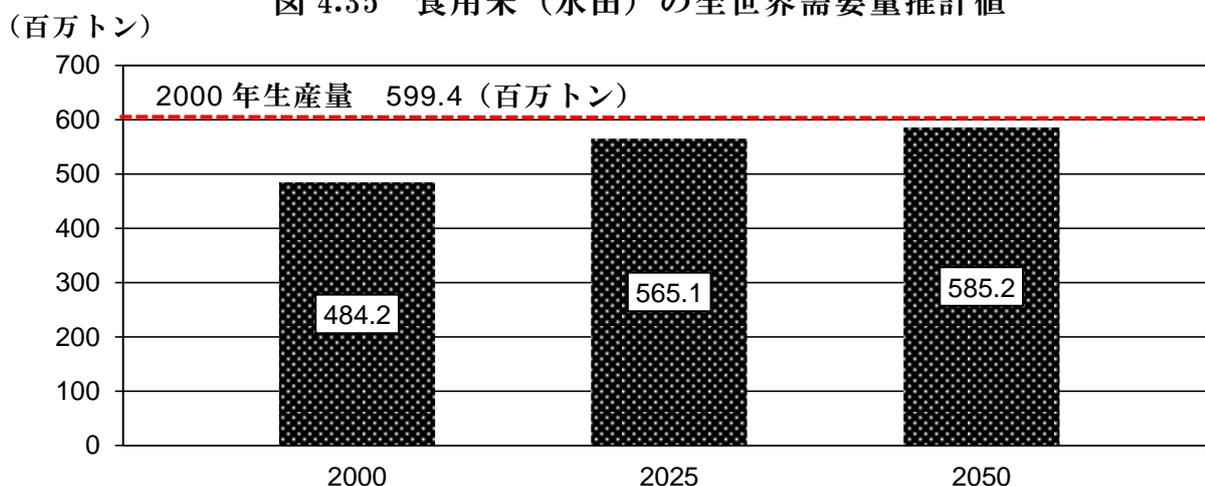
図 4.34 「CIESIN A1 シナリオ」の人口及び一人当たり GDP の推計値



4.5.2 食用米(水田)の全世界需要量推計値

食料米（水田）の全世界需要量の推計値は、米を主食とするアジア諸国の一人当たり消費量の減少傾向を反映して 2050年/2000年比で 1.21 倍の伸び率となるとともに 2000年の生産量を下回っている（図 4.35）。

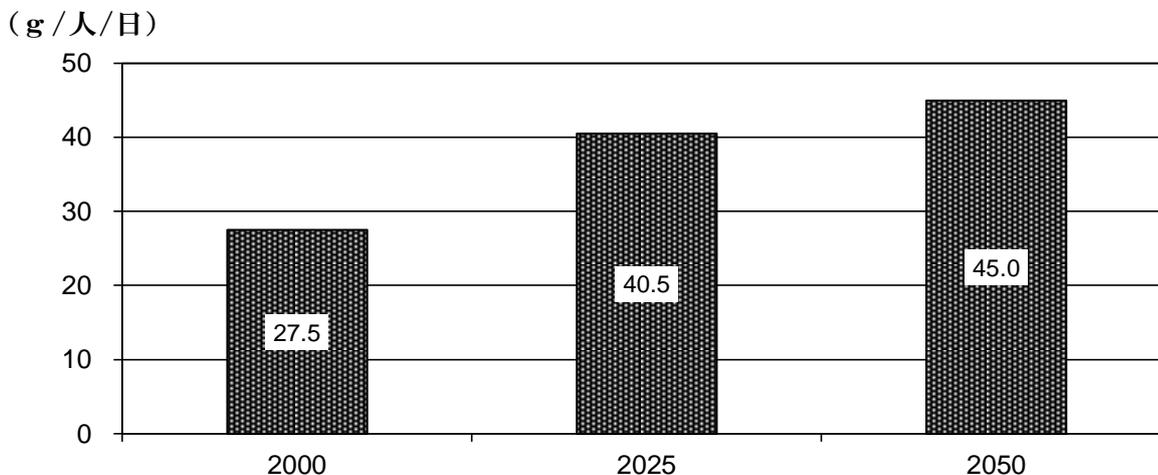
図 4.35 食用米（水田）の全世界需要量推計値



4.5.3 植物性油一人当たり消費量の推計値

加工用トウモロコシ及び加工用大豆の消費量と関係する植物油の一人当たり消費量の推計値は、2050年/2000年比で1.64倍の伸び率となっており、人口の伸び率を上回っている（図4.36）。

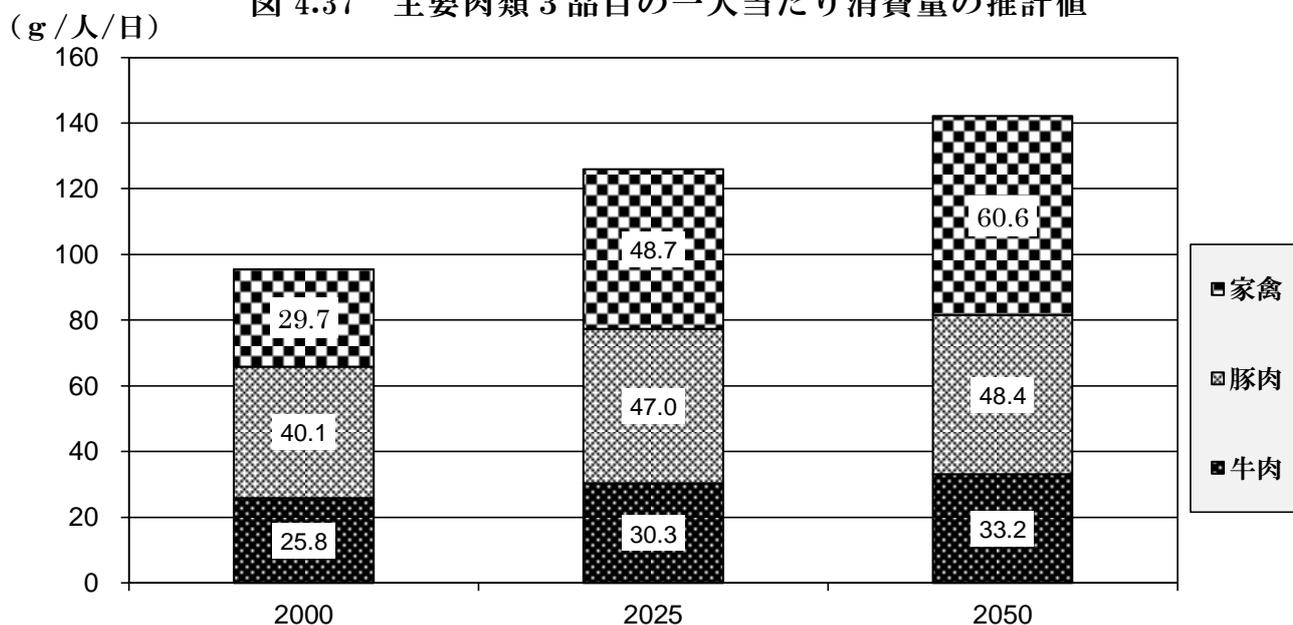
図 4.36 植物性油一人当たり消費量の推計値



4.5.4 主要肉類3品目の一人当たり消費量の推計値

飼料用トウモロコシ及び飼料用小麦の消費量と関係する主要肉類3品目の一人当たり消費量の推計値は、3品目合計値の2050年/2000年比で1.49倍の伸び率となっているが、特に、家禽の伸び率は約2倍と大きくなっている（図4.37）。

図 4.37 主要肉類3品目の一人当たり消費量の推計値

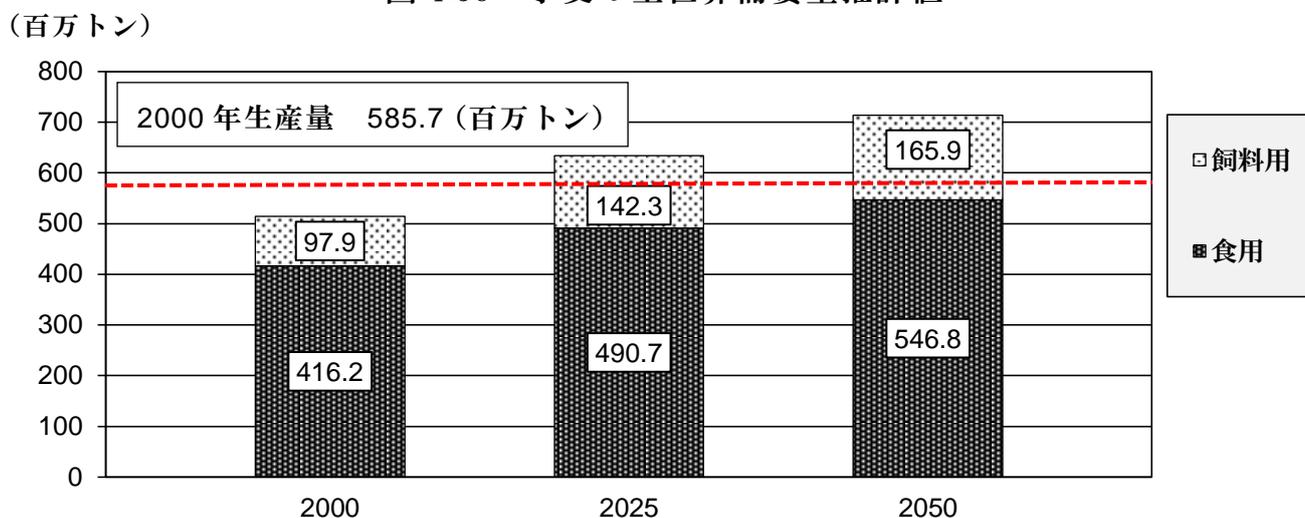


4.5.5 小麦の全世界需要量推計値

食料小麦の全世界需要量の推計値は、発展途上国の一人当たり消費量の増加傾向を反映して2050年/2000年比で1.31倍と大きな伸び率となっている。

一方、飼料小麦の全世界需要量の推計値は、主要肉類消費量の増加を反映して2050年/2000年比で1.69倍となっている（図4.38）。

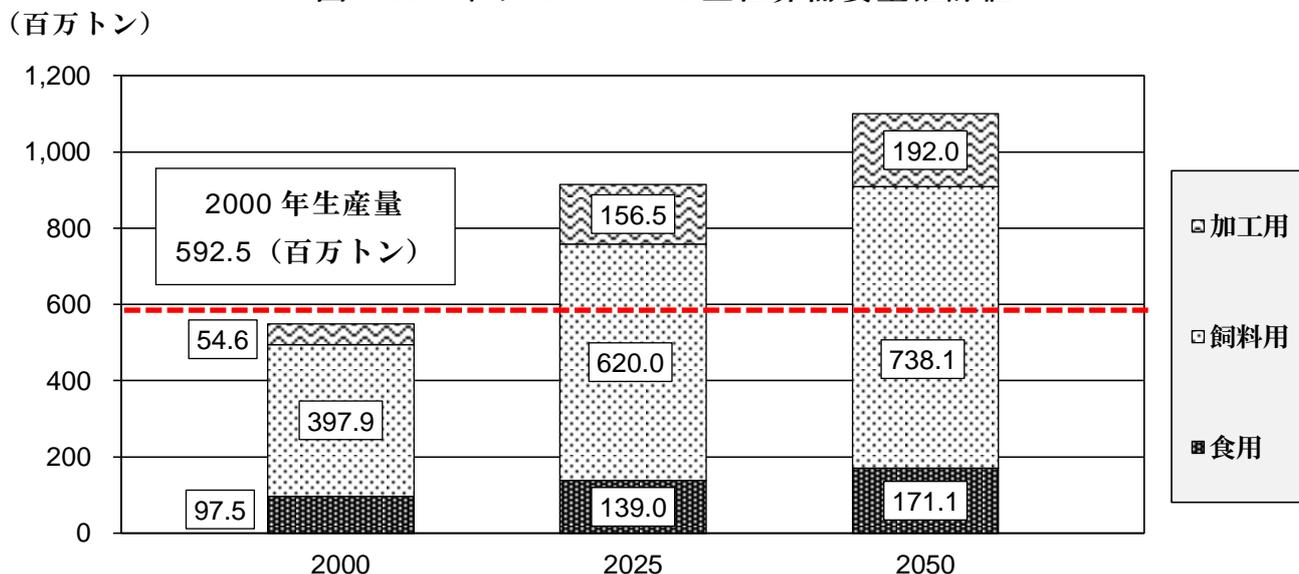
図 4.38 小麦の全世界需要量推計値



4.5.6 トウモロコシの全世界需要量推計値

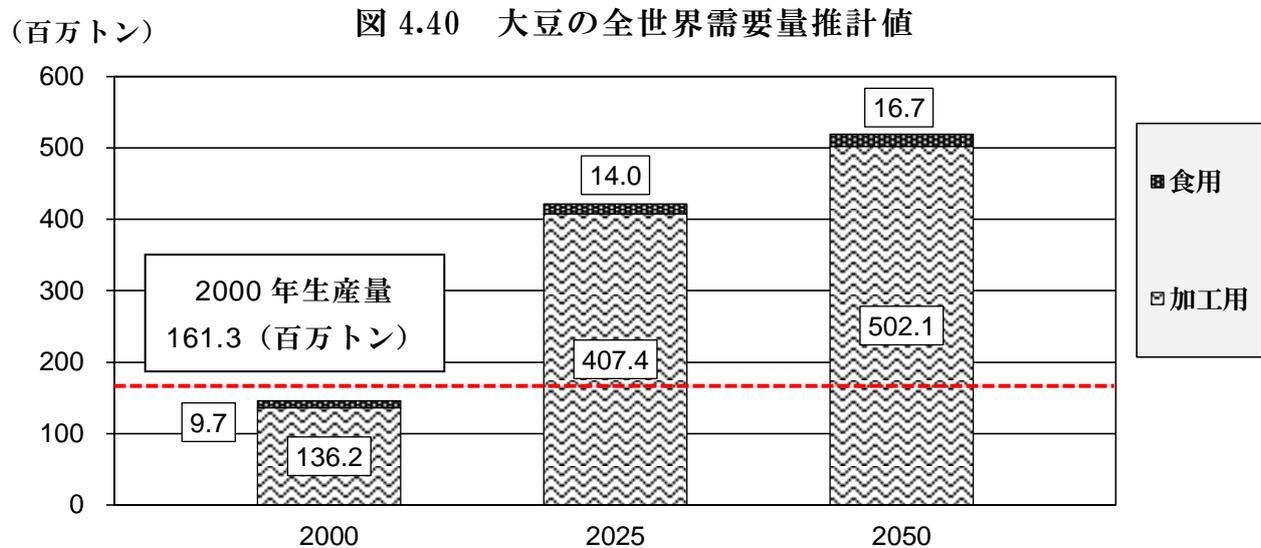
食用、加工用、飼料用を合計したトウモロコシの全世界需要量の推計値は、経済発展国や発展途上国での消費量の増加や植物油・肉類の増加を反映して、2050年/2000年比で2.0倍と大きな伸び率となっている（図4.39）。

図 4.39 トウモロコシの全世界需要量推計値



4.5.7 大豆の全世界需要量推計値

ほとんどを占める加工用大豆の全世界需要量の推計値は、植物油の増加を反映して、2050年/2000年比で3.55倍と大きな伸び率となっている（図4.40）。



第5章 生活用水と工業用水の将来水需要量

2000年のデータ数が多いことから、2000年を基準年とした生活用水と工業用水の将来水需要量について述べる。

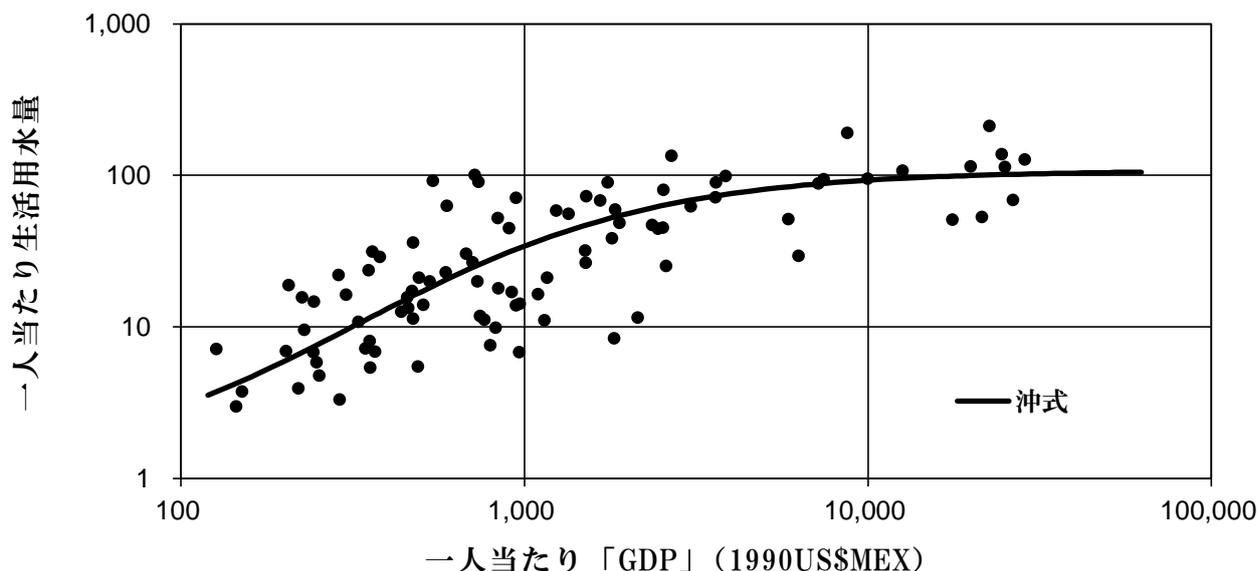
5.1 生活用水

5.1.1 生活用水の将来水需要量の推計方法

生活用水の使用量は、生活水準や水利用に係る歴史的な経緯から形成された生活様式と密接に関係していると思料されるが、「1人当たり生活用水量」と「1人当たりGDP」の関係を見ると、「1人当たりGDP」が低い国では、「GDP」の増加に伴い少ない生活用水量からの増加が著しく、高い国ほど生活用水量が一定となる傾向が認められる。

この関係については、東京大学の沖大幹教授が1990年のデータをもとに算出した式がある（文部科学省科学技術振興調整費「渇水対策のための人工降雨・降雪に関する総合的研究」公開シンポジウム「変わりゆく気候と水資源」講演資料「気候変動と世界の水資源」）。

図 5.1 一人当たりの「GDP」と「生活用水量」との関係（1990年）
($\text{m}^3 / (\text{人} \cdot \text{年})$)



沖教授の式は、以下のとおりである。

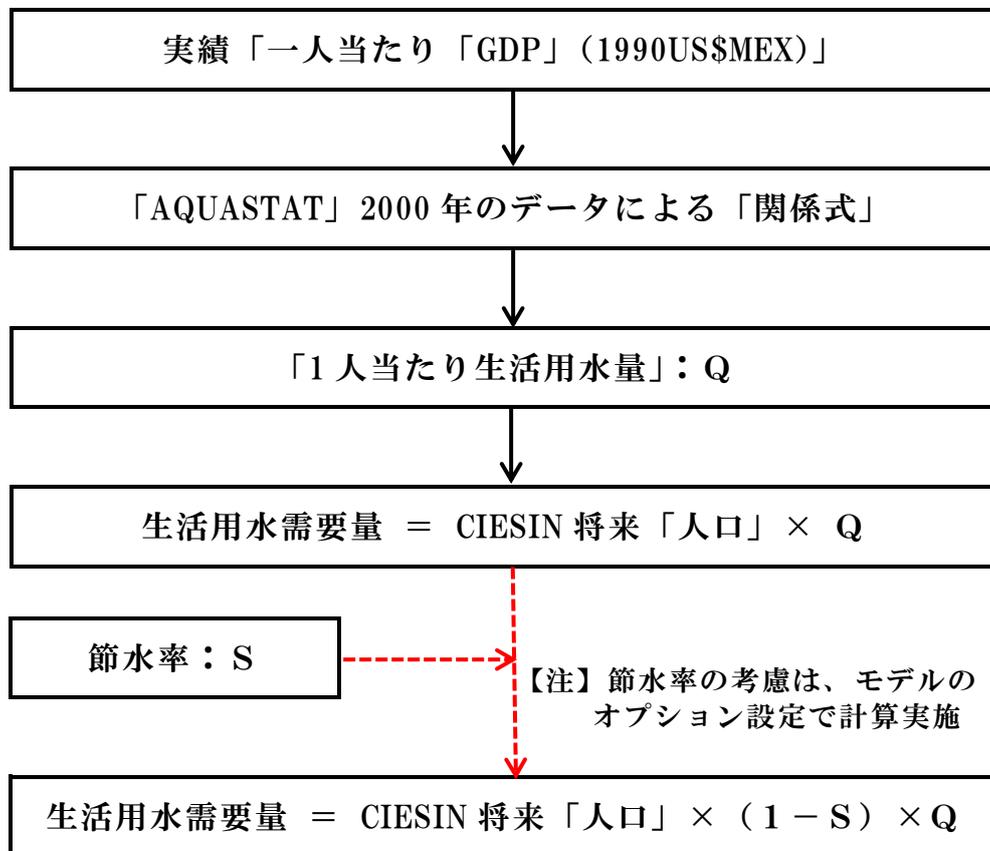
Q：1人当たり生活用水量

G：1人当たりGDP（1990US\$MEX）

$$\text{Log}_{10}(Q) = 2.03169 \times G / (G + 324.989)$$

図 5.1 に見るとおり、多少のばらつきはあるものの適合性は高いことから、この考え方を「AQUASTAT」2000年のデータに適用して「1人当たり生活用水量」と「1人当たり「GDP」(1990US\$MEX)」の関係式を算出することとし、生活水の将来水需要量は、この関係式と CIESIN の「人口」、「GDP」の将来予測値を用いて、次のとおり推計した。

図 5.2 生活水の将来水需要量の推計フロー



5.1.2 「AQUASTAT」のデータによる「関係式」の設定

関係式の算出にあたり、脱塩淡水化量は、単価の高い水であることから、生活用水と工業用水に充当されているものと考え、両者の比率で案分し加算した。

2000年データの散布図を描いてみたところ、1990年に比べて取水量の小さいアフリカやアジアのデータが加わったことからデータ分布のばらつきが大きく、一つの式で表現することは不相当と判断した。

このばらつきの原因は、生活水準や生活様式の違いに加え、表流水からの取水施設と水道等給水設備の整備状況が大きく関係していると考えられることから、前述の「水の世界地図」に記載されている「改善された水資源にアクセスできる人口割合」等を参考に、以下の4つのブロックに区分し、それぞれ関係式を設定した。

図 5.3 「先進国、経済発展国、東ヨーロッパ、産油国」の関係式
($\text{m}^3 / (\text{人} \cdot \text{年})$)

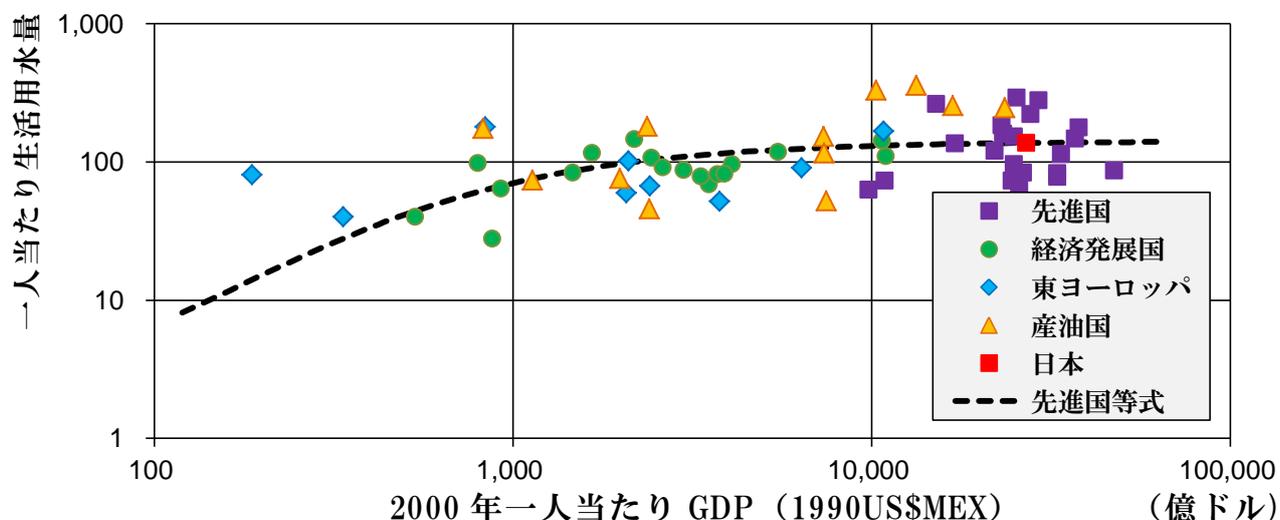


図 5.4 「アジア・中近東」の関係式

($\text{m}^3 / (\text{人} \cdot \text{年})$)

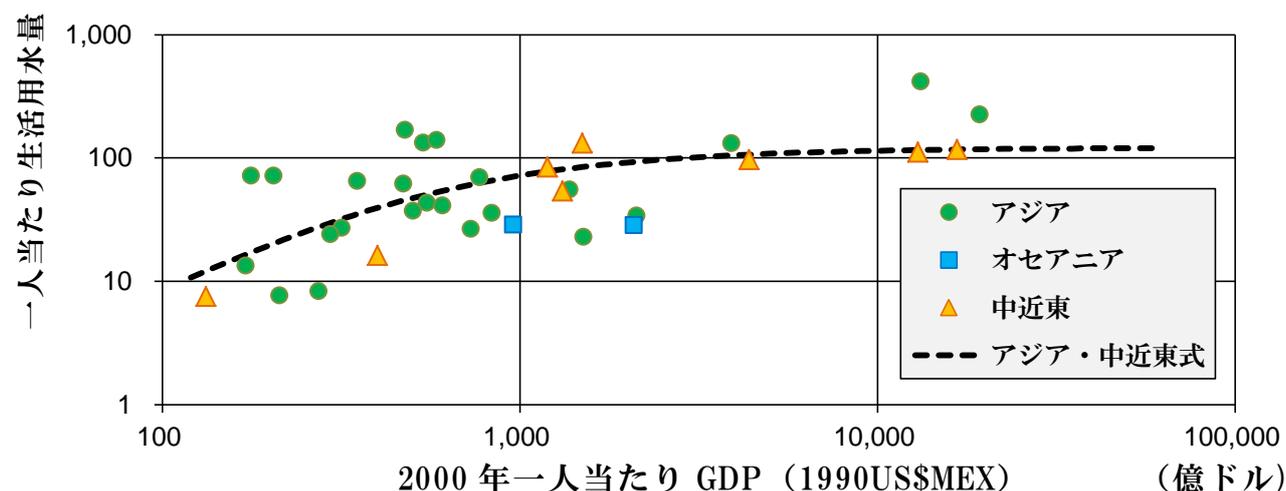


図 5.5 「中央・南アメリカ」の関係式

($\text{m}^3 / (\text{人} \cdot \text{年})$)

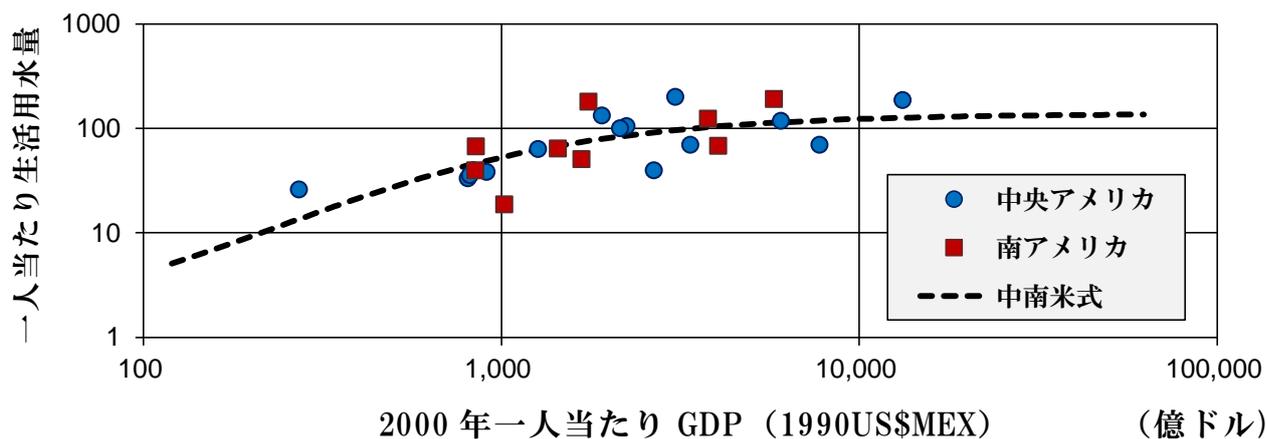
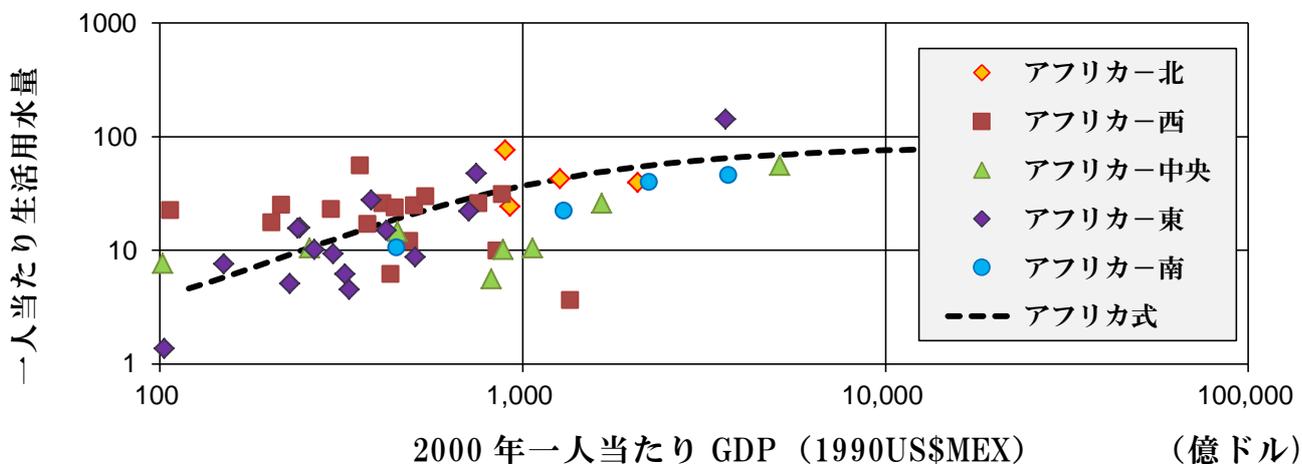


図 5.6 「アフリカ」の関係式

($\text{m}^3 / (\text{人} \cdot \text{年})$)



1) 先進国、経済発展国、東ヨーロッパ、産油国

$$\text{Log}_{10} (Q) = 2.15127 \times G / (G + 163.952)$$

2) アジア・中近東

$$\text{Log}_{10} (Q) = 2.08426 \times G / (G + 122.154)$$

3) 中央・南アメリカ

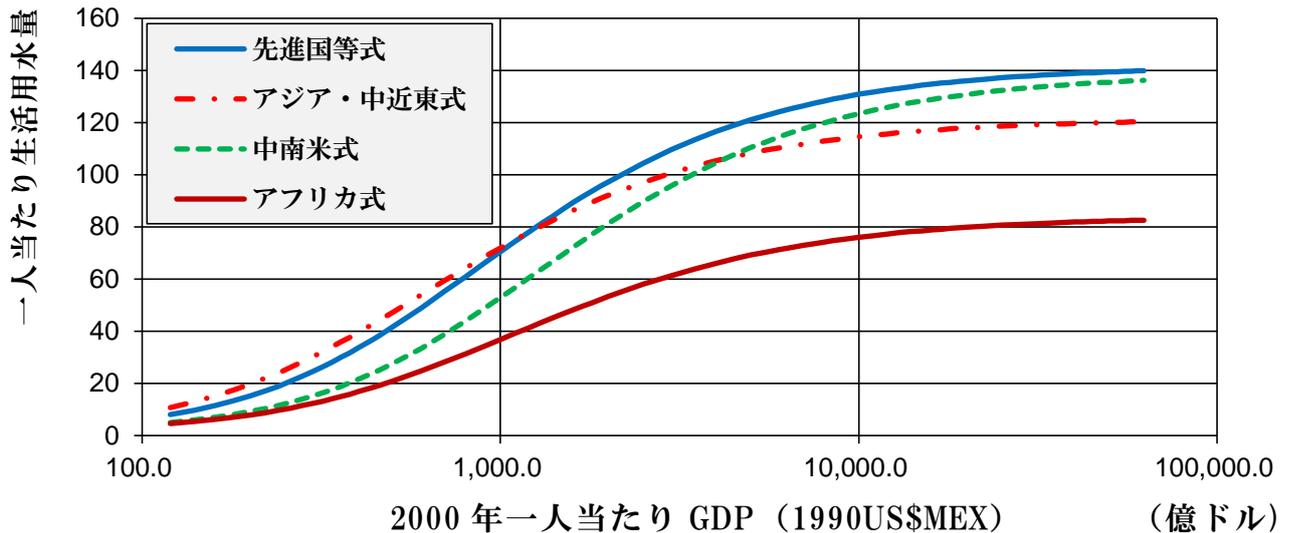
$$\text{Log}_{10} (Q) = 2.14221 \times G / (G + 242.876)$$

4) アフリカ

$$\text{Log}_{10} (Q) = 1.92401 \times G / (G + 227.9)$$

図 5.7 生活用水需要量推計の 4 つの関係式

($m^3 / (人 \cdot 年)$)



上記の式の個々の国への適用にあたっては、以下のような配慮をした。

- (1) 計算式の値が 2000 年の一人当たり生活用水量の値より「大きい国」
 計算式で与えられる 2000 年の値と X 年の値の増分を当該国の 2000 年の一人当たり生活用水量に加えた。
 すなわち、当該国の 2000 年の一人当たり生活用水量の値を通るように式を平行移動したことと同義である。
- (2) 計算式の値が 2000 年の一人当たり生活用水量の値より「小さい国」
 計算式で与えられる X 年の値が当該国の 2000 年の一人当たり生活用水量の値より小さい場合は、2000 年値を X 年の値とした（横ばい扱い）。

5.1.3 生活用水の推計結果

- (1) 一人当たり生活用水量 (図 5.8、表 5.1)
 - ・全世界及び多くの国々では、CIESIN の「一人当たり GDP (1990US\$換算)」の増大に呼応して一人当たり生活用水量が大きく増加しており、2050 年には、世界の多くの国々が現状の日本と同じようなレベルの生活用水の需要量となることを示している。
 - ・アメリカ合衆国は、2000 年の実績が推計式の値よりも多いく、かつ、2050 年の推計式の値が 2000 年の実績値よりも小さいことから、2000 年の値で一定値となっている。
 - ・日本は、「一人当たり GDP (1990US\$換算)」が推計式のほぼ横ばい領域にあることから微増となっている。
 - ・中華人民共和国は 4.1 倍、インドは 3.0 倍、インドネシアは 2.1 倍と大きな伸びとなっている。