

図 5.8 一人当たり生活用水の推計結果

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

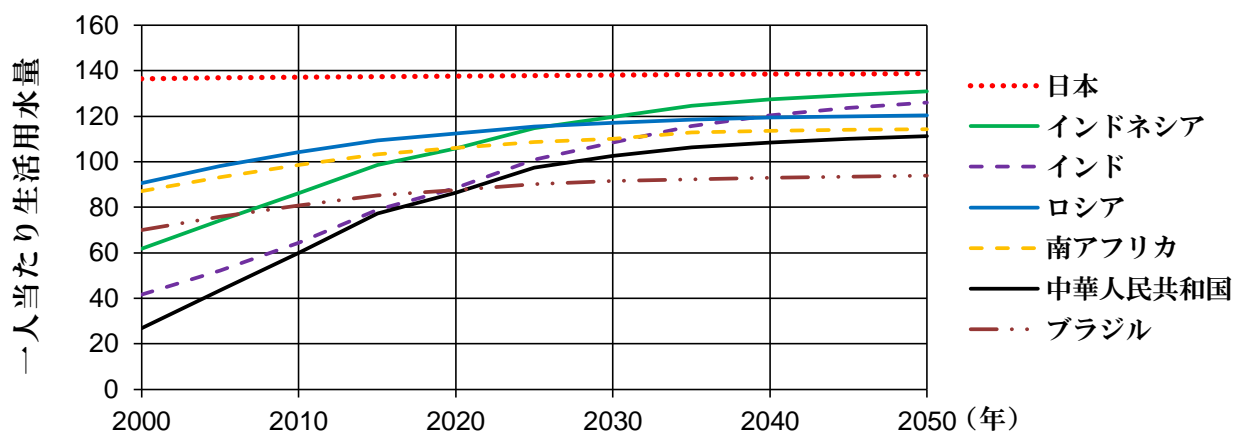


表 5.1 主要国の 2050 年「一人当たり生活用水」推計量と対 2000 年倍率

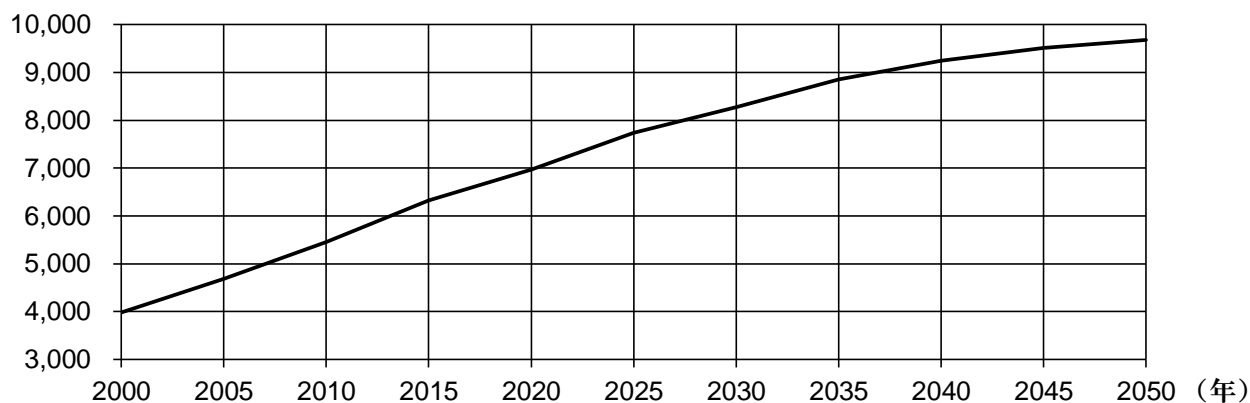
国名	2050 年推計量 ($\text{m}^3 / (\text{人} \cdot \text{年})$)	2050 年 対 2000 年倍率
インドネシア	130.9	2.119
インド	126.0	3.035
ロシア	120.4	1.328
南アフリカ	114.4	1.314
中華人民共和国	111.4	4.146

(2) 世界全体の「生活用水」の推計需要量

- ・「一人当たり GDP」の向上と人口増加の結果として、世界全体の「生活用水」の推計需要量は、2050 年/2000 年=2.43 倍、増加量は 5,691.3 億 m^3 と大幅な増加となっている (図 5.9)。

図 5.9 「生活用水」推計需要量の世界合計

(億 $\text{m}^3 / \text{年}$)

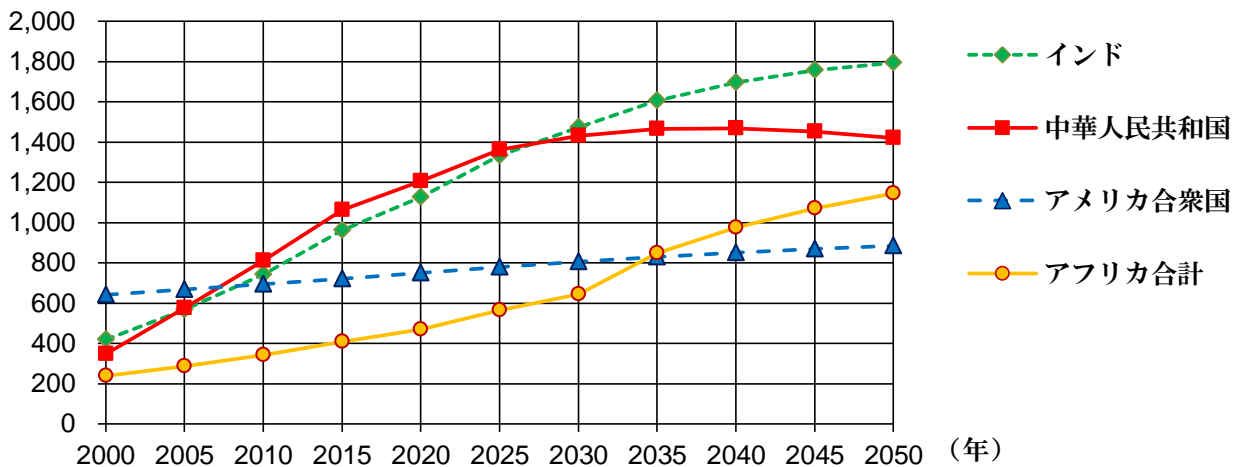


(3) 主要国の推計需要量 (図 5.10、表 5.2)

- ・取水量の大きい主な国の推計需要量を見ると、アジア地域を中心に大きな伸び率と示す結果となったが、推計需要量を賄うためには大量の更なる水資源開発が必要となることを意味している。
- ・人口が多く、かつ、大きな経済発展が見込まれている中華人民共和国とインドの推計需要量が飛びぬけて大きな値となっている。
- ・インドネシアを除く東南アジア諸国の合計の推計需要量は、4.2 倍である。
- ・2050 年にはインドとほぼ同じ 14 億人の人口になると見込まれているアフリカの需要量は、経済発展に対応して 4.8 倍になると推計されたが、気候変動により将来的に降水量が減少する地域が多いと予想されていることから供給面からの懸念がある。

図 5.10 主要国の「生活用水」推計需要量

(億m³/年)



(億m³/年)

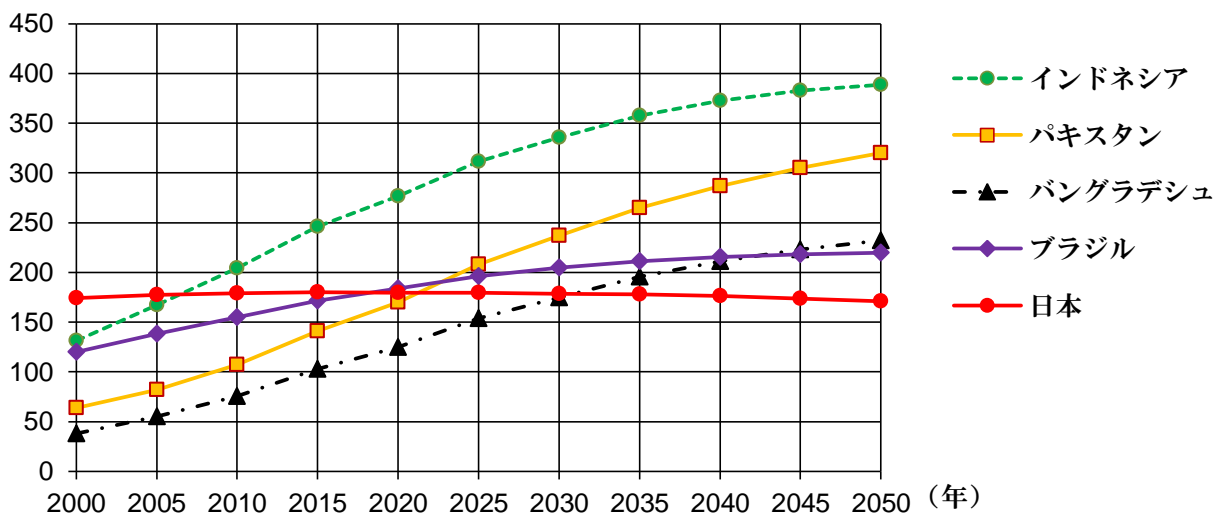


表 5.2 主要国の 2050 年「生活用水」推計需要量と対 2000 年倍率

国名	2050 年推計需要量 (億 m ³ /年)	2050 年 対 2000 年倍率
インド	1,793.7	4.271
中華人民共和国	1,420.0	4.090
アメリカ合衆国	886.0	1.383
インドネシア	388.8	2.958
パキスタン	319.9	5.006
バングラデシュ	231.8	6.100
ブラジル	219.6	1.827
日本	170.7	0.980

5.1.4 節水率の考慮

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。節水により利用可能な水資源量の総量が増加することはないが、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、本研究における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することとした。

水利用合理化推進協議会が全国 16 自治体で実施した「節水機器の事例調査結果」によると、4 人家族の水使用量は、1999 年時点で 1,000 L → 903 L (節水率 9.7%)、将来は以下のような機器の設置増加により更に 797 L (節水率 20.3%) となると推定されている。

- ・食器洗乾燥機：実績 20%(家庭+業務用) + 将来 40%(1/2 が設置) = 60%
- ・節水型洗濯機：実績 50%(家庭) + 将来 50%(買い換え) = 100%
- ・トイレ：実績 10%(家庭+事業所) + 将来 40%(1/2 が設置) = 60%
- ・洗面等：実績 10%(家庭+事業所) + 将来 45%(1/2 が設置) = 55%

そこで、日本を参考に、先進国、経済発展国及び産油国を対象として、「一人当たり GDP」(1990US\$MEX) が 10,000 \$ で 10%、20,000 \$ で 20% の節水率を設定し、節水量を計算することとした。

(注：この設定では、インドは対象外、中華人民共和国は 2036 年から 2050 年の間 10%、インドネシアは 2045 年以降に 10% の節水率となる)

5.2 工業用水

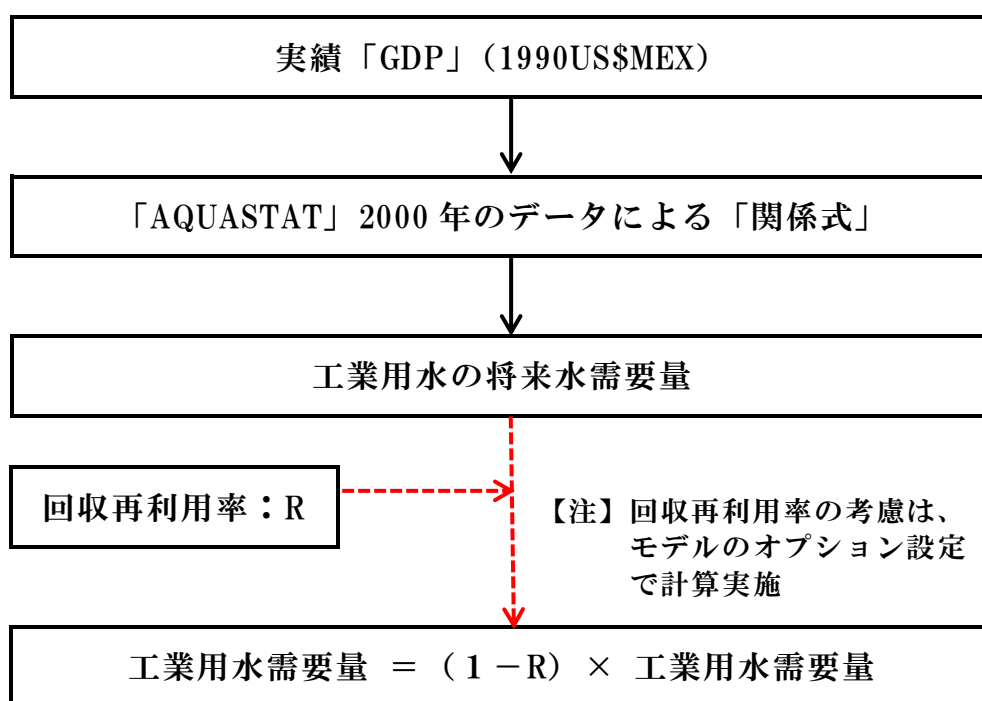
5.2.1 工業用水の将来水需要量の推計方法

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年データと実績「GDP」(1990US\$MEX)の関係式を算出することとし、工業用水の将来水需要量は、この関係式とCIESINの「GDP」将来予測値を用いて、次のとおり推計した。

なお、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むようにした。

図 5.11 工業用水の将来水需要量の推計フロー



5.2.2 「AQUASTAT」のデータによる「関係式」の設定

工業用水のデータが少なく全世界様の傾向を見出すことはできなかったが、いくつかのグループに分けて分析することで、それぞれの傾向を見出すことができる。

- 1) 日本を含む先進国では、アメリカ合衆国が増加傾向をしているが、他の国々は横ばいないし減少している (図 5.12、図 5.13)。
- 2) 経済発展の著しい中華人民共和国用水量は大きな伸びを示しているが、2000年以降は微増となっている (図 5.13)。

3) 用水量世界第3位のロシアを含む東ヨーロッパの国々は、減少傾向にある(図5.14)。

4) その他の国々は、フィリピンのように大きな伸びを示している国もあるが、概して、取水量が小さく伸びは微増の傾向を示している(図5.15)。

図 5.12 アメリカ合衆国、中華人民共和国、インドの工業用水量

(億 m^3 /年)

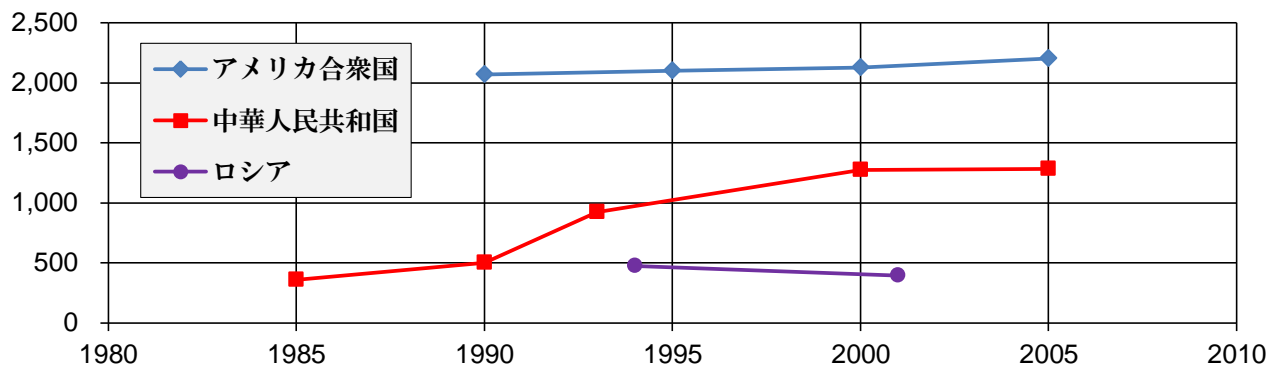


図 5.13 先進国の工業用水取水量

(億 m^3 /年)

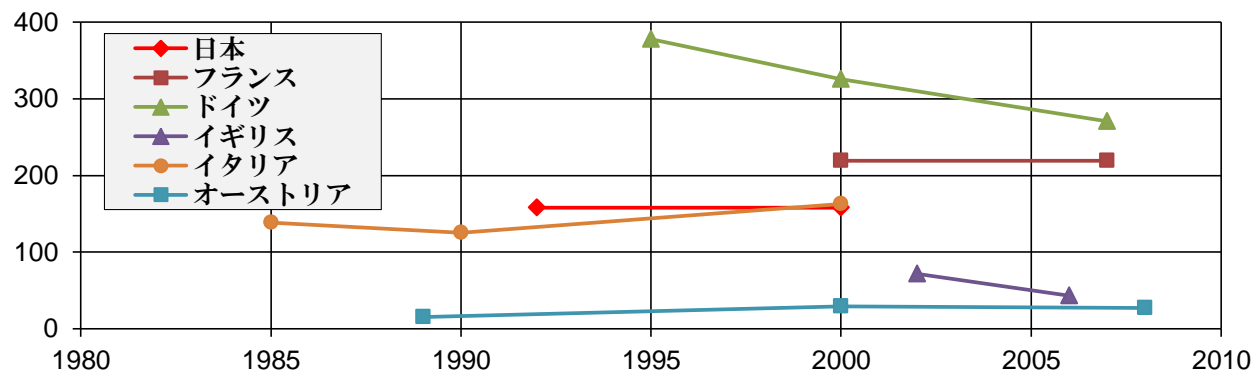


図 5.14 東ヨーロッパ諸国の工業用水取水量

(億 m^3 /年)

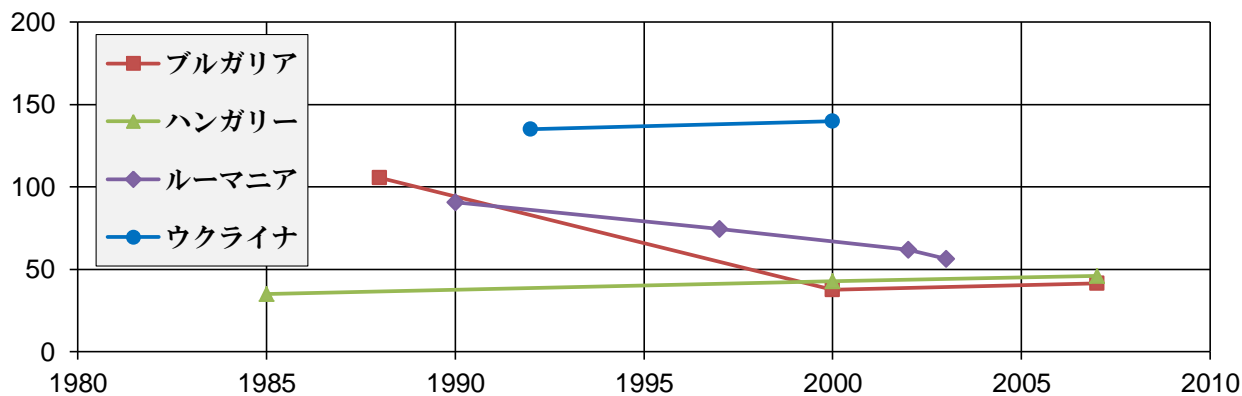
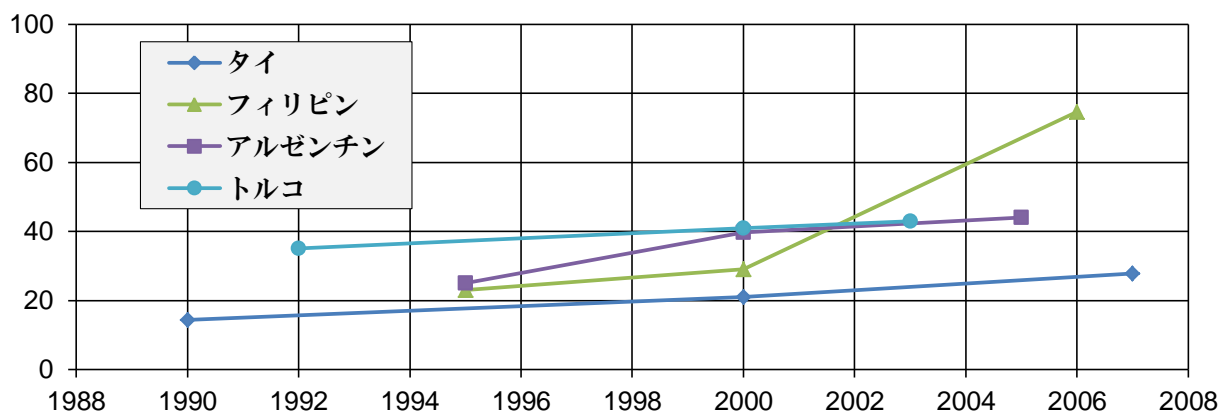


図 5.15 その他諸国の工業用水取水量

(億m³/年)



以上のような傾向を踏まえ、関係式を以下のように設定した。

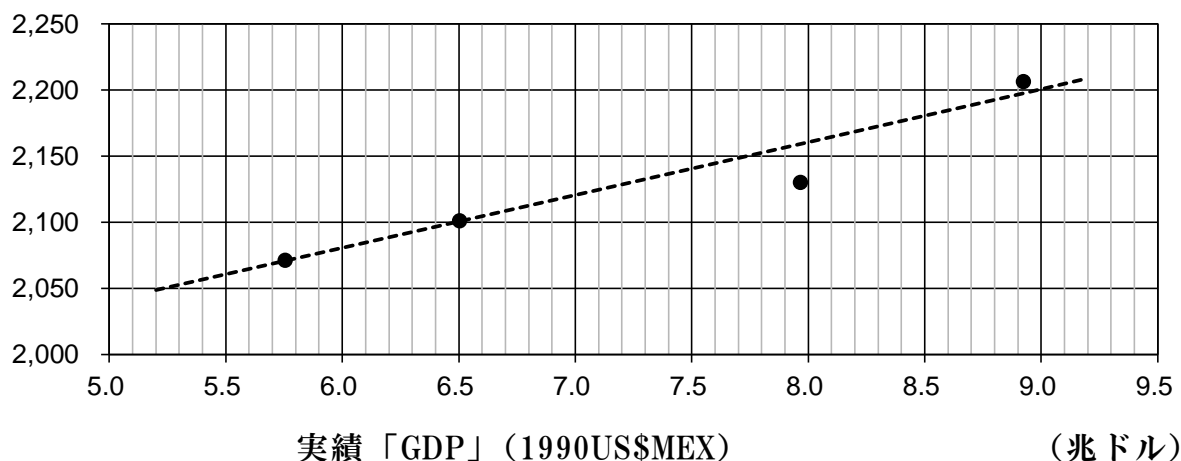
なお、関係式の算出にあたり、脱塩淡水化量は、単価の高い水であることから、生活用水と工業用水に充当されているものと考え、両者の比率で案分し加算した。

1) アメリカ合衆国

1990年～2005年の取水量と実績「GDP」(1990US\$MEX)との関係(図5.17)から以下の式を設定した。

$$K_{\text{米国}} = 0.004 \times GX(\text{億ドル}) + 1840.39$$

図 5.16 アメリカ合衆国 1990年～2005年の工業用水量と実績「GDP」との関係 (億m³/年)



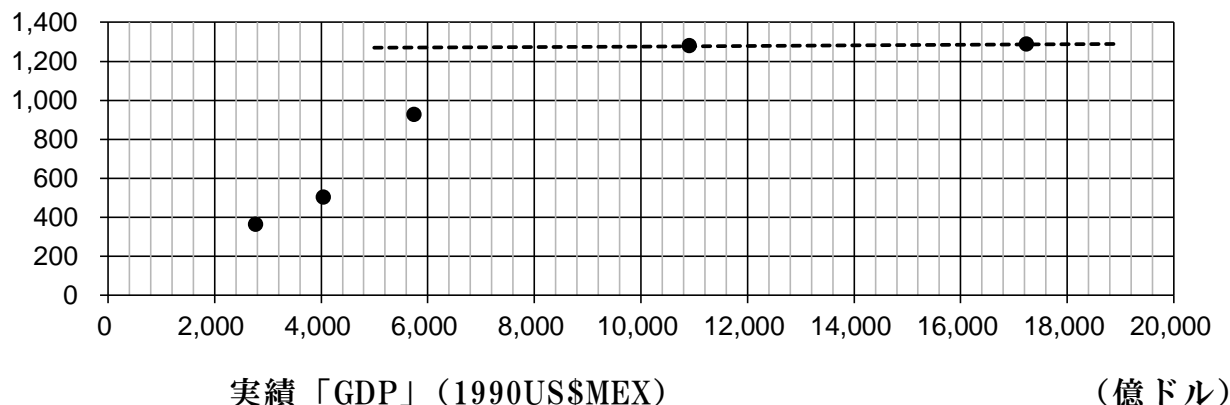
2) 中国

2000年と2005年の工業用水量と実績「GDP」(1990US\$MEX)の関係(図5.17)から以下の関係式を設定した。

$$K_{\text{中国}} = 0.00142 \times GX(\text{億ドル}) + 1261.49$$

図 5.17 中華人民共和国の工業用水量と実績「GDP」との関係

(億m³/年)



3) 先進国 (除く、アメリカ合衆国) 及び経済発展国 (除く、東ヨーロッパ諸国、中華人民共和国)

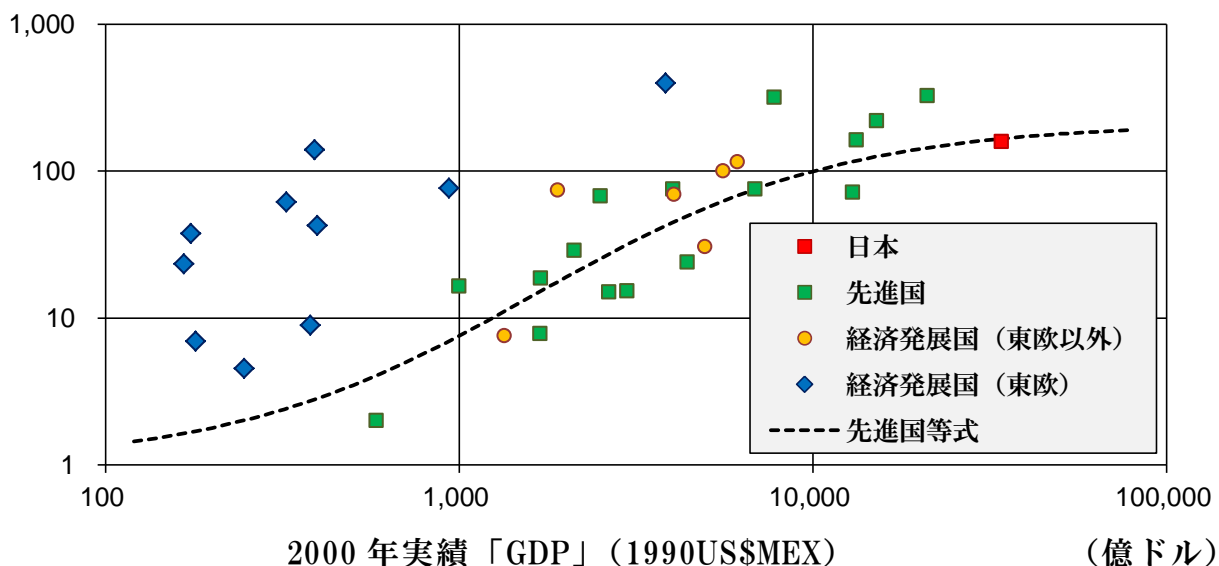
K : 工業用水需要量 (単位: 億m³/年)

G X : CIESIN 「GDP」 (1990US\$MEX) (単位: 億ドル)

$$\text{Log}_{10} (K) = 2.32663 \times G X / (G X + 1646.686)$$

図 5.18 先進国・経済発展国の工業用水量と実績「GDP」との関係

(億m³/年)



4) 東ヨーロッパ諸国の経済発展国

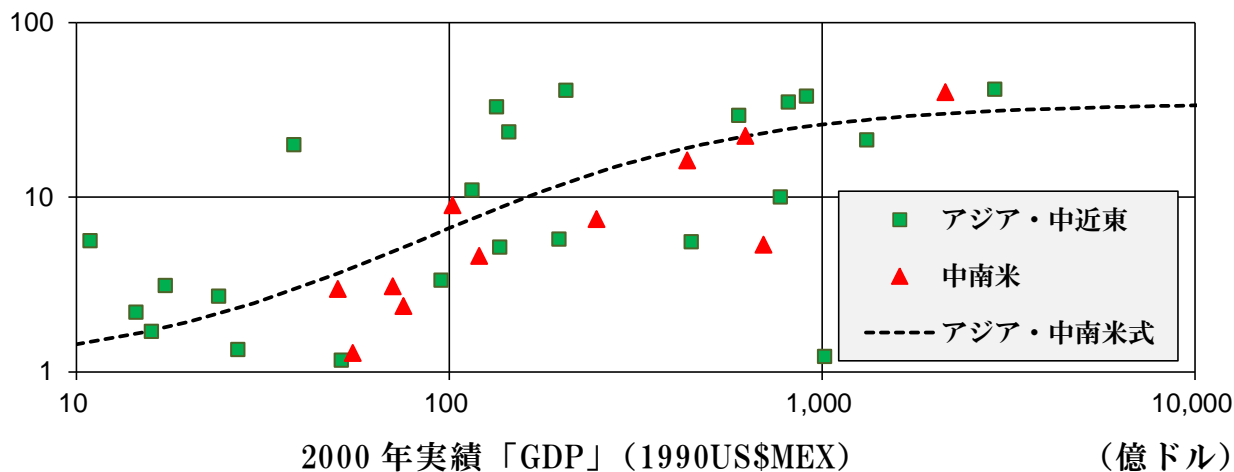
東ヨーロッパ諸国は、GDP が小さいにも関わらず用水量が概して大きい。非効率な使い方をしていると推察されるが、経済発展により使用の効率化が促進するものと考えられることと図 5.14 の傾向を考慮して、当面は実績横ばい、先進国等式に追いついた段階で先進国等式を適用することとした。

5) アジア・中近東・中南米

比較的取水量の多い国々の取水量と実績「GDP」(1990US\$MEX)の関係(図5.19)から、以下の関係式を設定した。

$$\text{Log}_{10}(K) = 1.53807 \times G X / (G X + 86.957)$$

図 5.19 アジア・中近東・中南米の工業用水量と実績「GDP」との関係
(億m³/年)



6) アフリカ・産油国

比較的取水量の多い国々の取水量と実績「GDP」(1990US\$MEX)の関係(図5.20)から、以下の関係式を設定した。

$$\text{Log}_{10}(K) = 1.30053 \times G X / (G X + 322.976)$$

図 5.20 アフリカ・産油国の工業用水量と実績「GDP」との関係
(億m³/年)

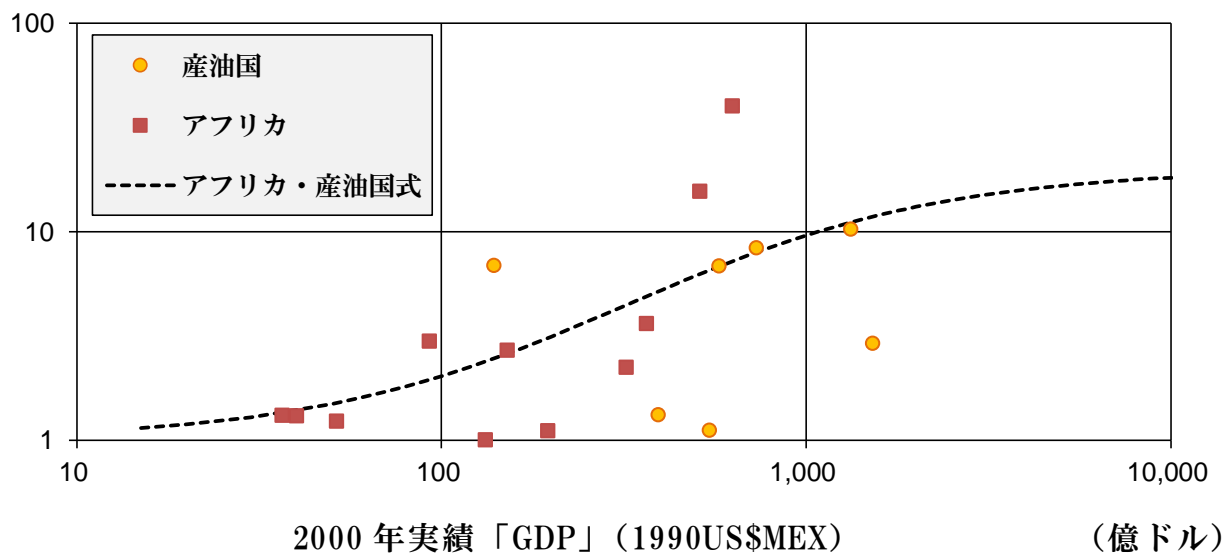
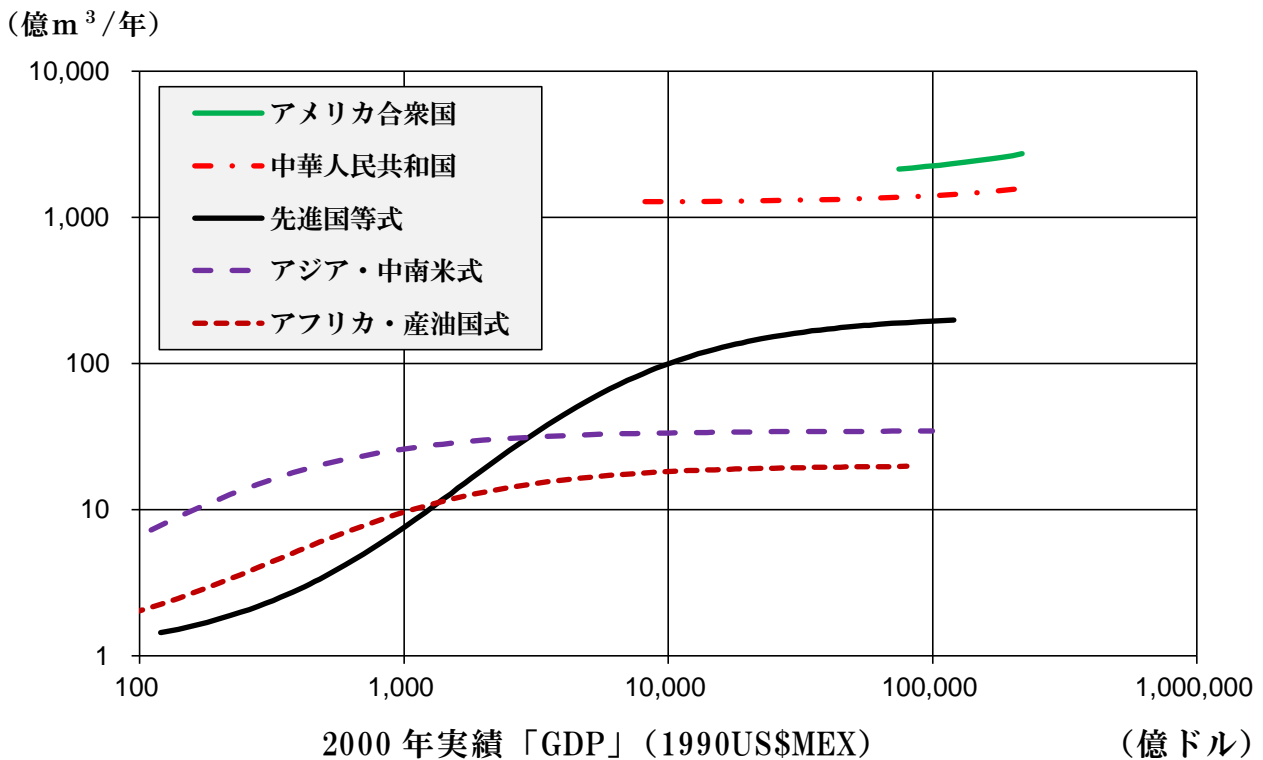


図 5.21 工業用水需要量推計の4つの関係式



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。

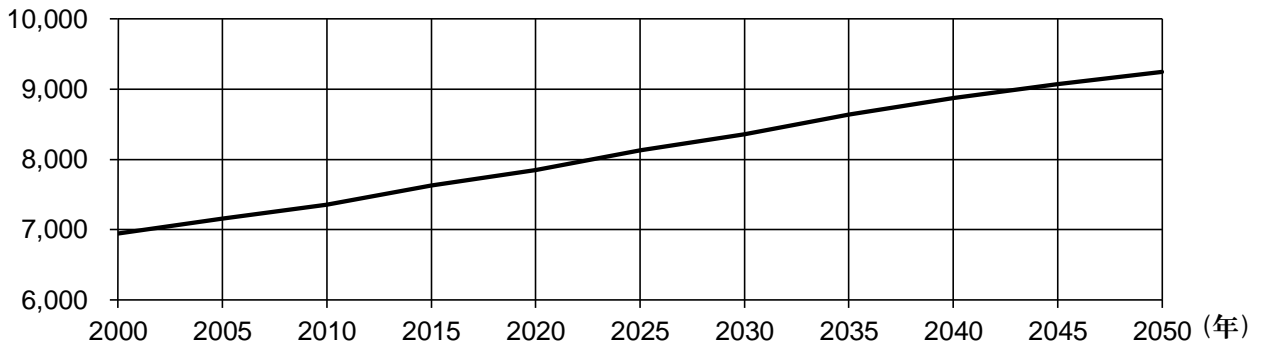
- (1) 計算式の値が 2000 年の工業用水量の値より「大きい国」
 計算式で与えられる 2000 年の値と X 年の値の増分を当該国の 2000 年の工業用水量に加えた。
 すなわち、当該国の 2000 年の工業用水量の値を通るように式を平行移動したことと同義である。
- (2) 計算式の値が 2000 年の工業用水量の値より「小さい国」
 計算式で与えられる X 年の値が当該国の 2000 年の工業用水量の値より小さい場合は、2000 年値を X 年の値とした（横ばい扱い）。

6.2.3 工業用水の推計結果

- (1) 世界全体の「工業用水」の推計需要量
 - 2050 年／2000 年 = 1.33 倍、増加量は 2306.8 億 m³。「生活用水」よりは需要の倍率が小さいとはいえ、大きな値となっている。生活用水と合計した増加需要量を賄うためには大きな水資源開発が必要となることを意味している (図 5.22)。

図 5.22 「工業用水」推計需要量の世界合計

(億 m^3 /年)

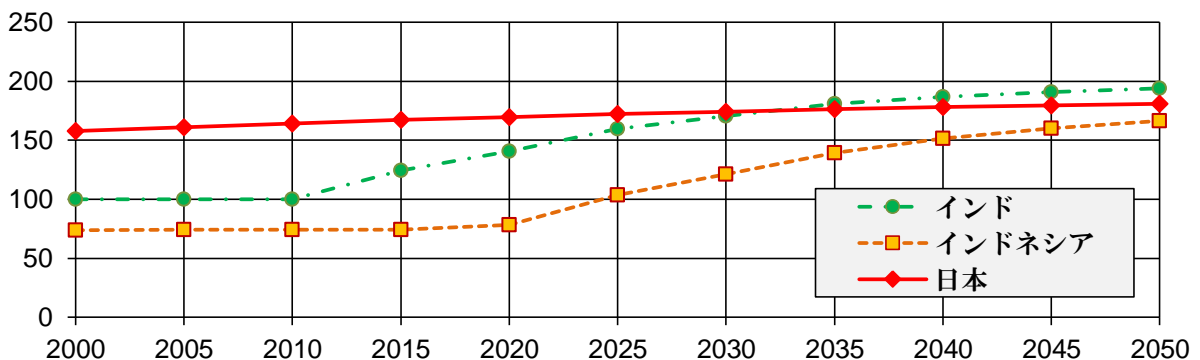
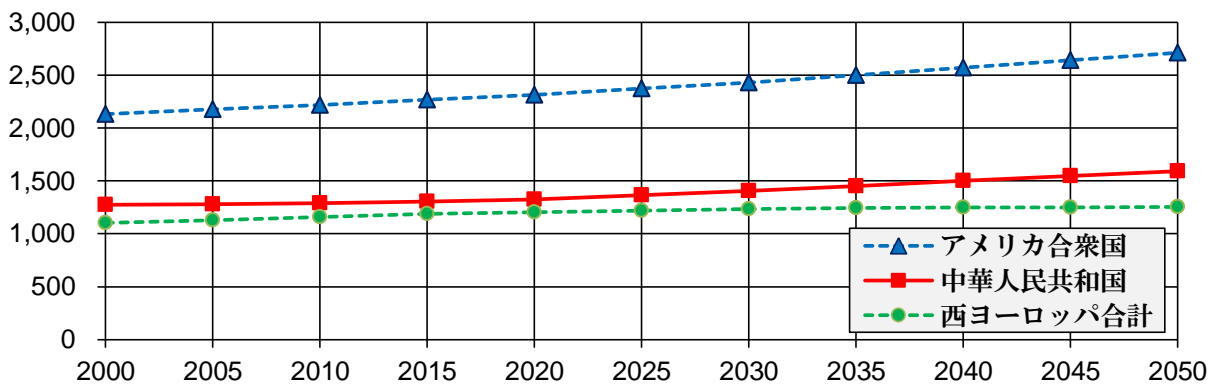


(2) 主要国の推計需要量 (図 5.23、表 5.3)

- ・アメリカ合衆国と中華人民共和国は、1.3 倍に近い伸び率となっている。
- ・インドは 1.9 倍、インドネシアは 2.3 倍の伸び率で、2050 年の推計需要量は日本とほぼ同じ量となっている。
- ・個々の国の需要量はそれほど大きくはないが、中南米は 1.9 倍、アフリカは 4.3 倍と大きな伸び率となっている。
- ・日本等の先進国の伸び率は、1.1 倍程度である。

図 5.23 主要国の「工業用水」推計需要量

(億 m^3 /年)



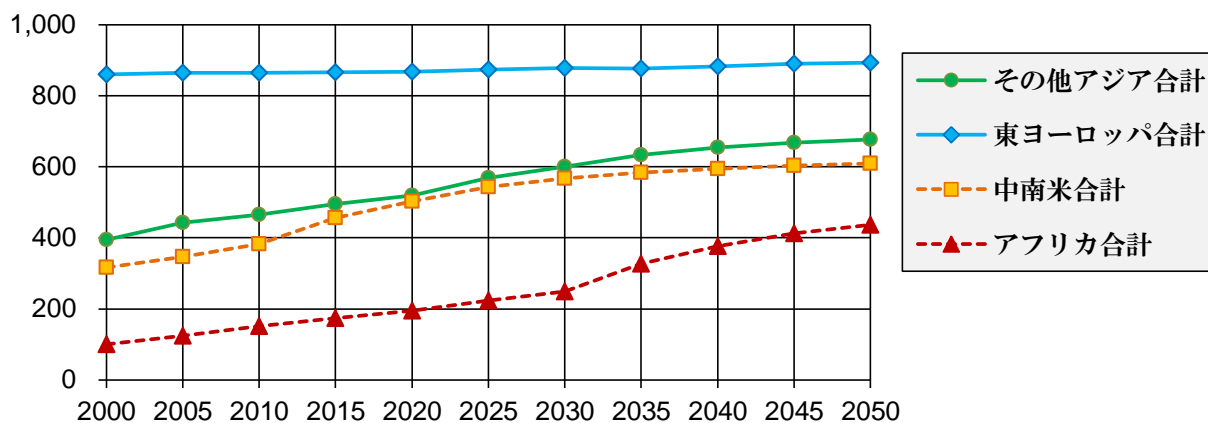


表 5.3 主要国の 2050 年「工業用水」推計需要量と対 2000 年倍率

国名	2050年推計需要量 (億m ³ /年)	2050年 対2000年倍率
アメリカ合衆国	2710.7	1.273
中華人民共和国	1592.8	1.251
インド	193.9	1.939
インドネシア	166.7	2.253
日本	181.1	1.146
その他アジア合計	677.7	1.716
東ヨーロッパ合計	893.7	1.039
西ヨーロッパ合計	1251.7	1.135
中南米合計	609.2	1.922
アフリカ合計	436.1	4.342

5.2.4 回収再利用率の考慮

日本では、水多使用業種（鉄鋼、化学）の回収水の利用率は約 90% と高い値を示している。全業種でも、全工業用水水源のうち約 80% は回収水である。このような日本の水再生技術を世界各国が導入すれば工業用水の将来需要量を大幅に軽減することが可能となる。

表 5.4 日本における工業用水の回収水利用率

（出典：2008 年工業統計、経済産業省）

業 種	工業用水水源別内訳（単位：千m ³ /日）						回収水利用率（%）
	工業水道	上水道	井戸水	その他淡水	回収水	合計	
鉄 鋼	2,903	98	185	543	34,968	38,697	90.4
石油・石炭製品	857	10	3	5	7,434	8,309	89.5
化 学	3,751	176	1,000	1,295	38,865	45,087	86.2
輸 送 用 機 械	270	180	283	20	8,201	8,954	91.6
情報通信機械	9	34	33	1	257	334	76.9
はん用機械器	52	52	67	13	417	601	69.4
電 気 機 械	40	63	114	6	256	479	53.4
生産用機械	49	85	97	8	143	382	37.4
業務用機械	12	32	55	19	32	150	21.3
紙 パ ル プ	2,248	35	923	4,335	6,685	14,226	47.0
ゴ ム 製 品	34	22	133	15	795	999	79.6
非 鉄 金 属	245	51	176	164	2,002	2,638	75.9
電 子 部 品	443	218	438	18	2,203	3,320	66.4
プラスチック製品	71	84	511	183	1,661	2,510	66.2
金 属 製 品	132	107	186	29	257	711	36.1
窯業・土石製品	201	76	280	165	2,282	3,004	76.0
織 維	342	33	856	534	1,778	3,543	50.2
食 料 品	350	435	1,233	483	1,719	4,220	40.7
木材・木製品	17	18	18	3	20	76	26.3
飲料・たばこ等	173	98	450	29	166	916	18.1
なめし革・毛皮	0	1	4	0	1	6	16.7
印 刷	6	39	29	0	5	79	6.3
家具・装備品	4	9	12	0	0	25	0.0
全 産 業	12,209	1,956	7,086	7,868	110,147	139,266	79.1

表 5.6 は、主要国の工業出荷額をベースとして、化学、鉄鋼、機械産業での回収水利用率を 90%、紙パルプ産業で 47%、その他産業で 40% とした場合の合算回収水利用率を計算したものである。もちろん、工業出荷額が水使用量を意味するもの

ではないが、主要国で回収可能な水量を推定する目安となる。水需要がひっ迫する先進国と経済発展国において、日本との比較及び水再生技術の導入率を仮定し、工業用水の回収水利用率（表 5.6）を反映できる計算をモデルに組み込んだ。

表 5.5 主要国での工業出荷額（現地通貨）と回収水利用率の試算

国名	全工業出荷額計	製紙	化学	鉄鋼	機械	試算回収水利用率 (%)
オーストラリア	317,091	8,891	27,347	0	14,984	46.9
カナダ	584,038	35,182	48,248	14,541	195,534	62.5
フィンランド	103,112	12,292	5,945	5,593	38,690	65.2
フランス	871,342	17,282	103,143	20,013	295,043	64.1
ドイツ	1,451,465	30,988	133,346	44,726	647,356	68.6
ギリシャ	43,880	879	2,632	2,245	4,667	51.0
イタリア	830,676	17,935	69,425	32,075	228,154	60.0
オランダ	228,640	5,521	45,052	4,365	39,963	59.7
スペイン	457,602	11,170	40,420	15,975	110,615	58.4
スウェーデン	1,552,424	115,753	133,240	89,441	574,475	66.2
イギリス	436,013	10,755	45,314	9,173	130,551	61.4
アメリカ合衆国	4,735,384	162,848	607,053	107,232	1,560,778	64.3
ブラジル	1,132,491	36,836	143,960	72,540	293,561	62.7
中華人民共和国	27,457	504	2,867	2,540	9,685	67.6
インド	16,206	227	1,089	1,863	3,489	60.0
インドネシア	1,088,682	68,226	110,066	62,129	174,178	56.3
ポーランド	627,685	14,644	45,218	20,743	156,120	57.9
大韓民国	912,763	14,743	82,152	61,195	436,718	71.9
ルーマニア	174,114	2,058	9,921	12,729	36,157	57.0
ロシア	10,611	182	987	1,118	1,559	57.4
南アフリカ	1,023	43	134	79	232	62.0
					平均	60.7
日本	295,747	7,065	24,958	14,611	138,464	70.3

(出典：International Yearbook of Industrial Statistics 2006～2009, United Nations, Industrial Development Organization)

表 5.6 工業用水の回収水再利用率の設定

水再生技術導入率	回収水再利用率
25 %	17 %
50 %	34 %
75 %	51 %

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）

「利用可能水資源量」とは、人為的なコントロールが可能な水資源量の総量と定義する。

水資源の取得（開発）に関する項目は、「表流水からの取水量」、「脱塩淡水化量」、「地下水取水量」の3項目である。このうち、「表流水からの取水量」については、「渇水による表流水からの取水量の減少」を考慮することとした。

さらに、利用に関する項目として、「生活用水の節水」、「工業用水の回収水利用」を考慮することとした。

これらの項目と推計計算モデルへの組み込みの内容は、以下の通りである。

6.1.1 地下水からの取水量

（1）取水量の増加

インド、中華人民共和国等一部の国々では、増加傾向を示しているが、地下水位の低下等の問題が生じているとの報告もあることから、増加については、計算に組み込まなかった。

（2）取水量の減少

地下水からの取水量が減少した場合の影響を推計するために、取水量が大きいアメリカ合衆国、中華人民共和国、インドの3か国については、5年ごとに一定率での減少を計算できるようにした。

6.1.2 脱塩淡水化量

脱塩淡水化は、産油国等では有効な水資源となっているが、データが少なく、かつ、絶対量が非常にわずかなので増減効果については組み込まなかった。ただ、世界各国で施設整備が行われており、今後の取水量の増加が想定されること、アラル海・カスピ海では脱塩淡水化によって海面の縮小・低下が社会問題となるなど今後の検討課題の一つである。

6.1.3 表流水からの取水量（新規水資源開発）

第4章に記載したようにデータ数が少ないので傾向値を見出すことは困難であるが、中華人民共和国、アメリカ合衆国、フィリピン等増加している国がある。

増大する需要に対応するためには、新規水資源開発が必要であり、経済力の拡大に伴ってダムや取水施設の整備が進展することは確実であると思われる。

そこで、施設整備に時間を要するため階段状にアップしていくことが現実的であると考へ、モデルでは、2011年以降の5年ごとに一定量の増加をすると設定とした。この増加量は、対象166か国毎に個別に設定できるようにしたが、検討シナリオとしては表6.1のように国グループごとに2000年の表流水からの取水量に対する増加率を設定した。

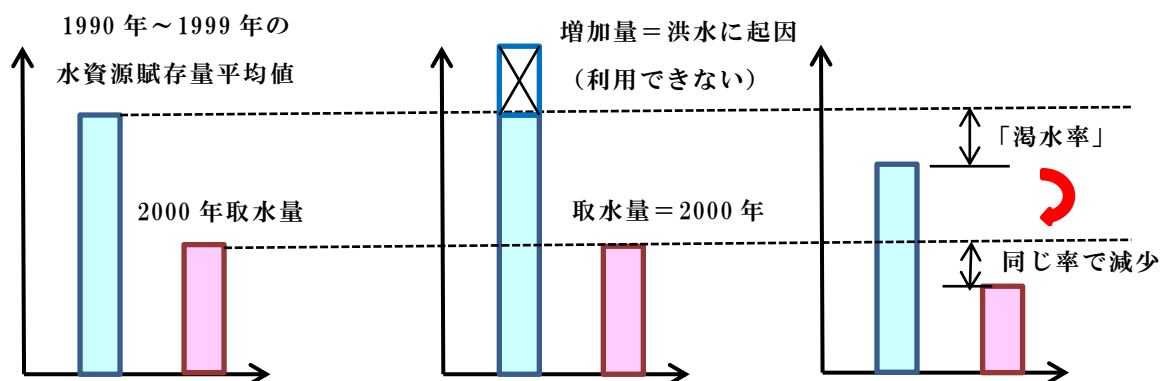
表 6.1 5年ごとの表流水からの取水量の増加率の設定

	S0	S1	S2
アメリカ合衆国	0 %	2 %	2 %
中華人民共和国	0 %	2 %	5 %
インド	0 %	2 %	5 %
先進国 (除く、アメリカ合衆国)	0 %	0.5 %	1 %
経済発展国	0 %	2 %	5 %
農業国 (除く、乾燥地帯)	0 %	2 %	5 %
産油国	0 %	0.5 %	1 %
乾燥地帯の国	0 %	0.5 %	1 %

6.1.4 渇水による表流水からの取水量の減少

1990年～1999年までの水資源賦存量の平均値を母数として、以下のような考え方で2000年から2050年の水資源賦存量から「渇水率」を算出し、表流水からの取水量を減少させる計算をオプションとして組み込んだ。

図 6.1 渇水による表流水からの取水量の減少の概念図



6.1.5 そのほかの計算オプション

(1) 生活用水の「節水」

先進国と経済発展国を対象に、日本を参考として、2011年以降に一人当たりGDP（1990年US\$換算）が10,000ドルになったら10%、20,000ドルになったら20%の「節水率」による効果を計算できるようにした（「5.1.4」参照）。

(2) 工業用水の「回収水利用」

日本以外の先進国と経済発展国を対象に、2015年から5%、2020年から10%、2025年以降は表6.2に示す回収水利用率を導入した場合の効果を計算できるようにした（「5.2.4」参照）。

表 6.2 工業用水の「回収水利用率」の設定

水再生技術導入率	回収水利用率
25 %	17 %
50 %	34 %

(3) ダムの統合運用

今後の検討課題として組み込まなかった。

(4) 雨水の有効利用

雨水をタンク等に貯留（「天水尊」、後樂園ドームや国技館の地下タンク等）し、生活用水の一部として利用することが考えられるが、今後の検討課題として組み込まなかった。

6.2 水利用の考え方（「水配分」シナリオ）

第5章で記載したように先進国以外の国々では、「生活用水」と「工業用水」の大きな需要増加が予想される。加えて、人口増加に対応して農作物生産量を増加させるための「農業用水」需要の増加圧力も高まることは当然のことと予想される。

しかし、現実的な新規水資源開発のシナリオは、表6.1のようなと考えられることから、先進国以外の国々では慢性的な水不足の状態となるものと予想される。

したがって、「利用可能水資源量」の配分シナリオが重要な意味を持つことになる。「水配分シナリオ」は、各国各地域の産業構造や水利用形態から依存度・優先度の多寡を評価し、決定することが合理的であることから、以下のような配分の考え方を設定し、それぞれの影響を計算することとした。

表 6.3 設定した「水配分シナリオ」

増加した水資源量の 水配分シナリオ名	国の分類 グループ	水配分比率		
		生活用水	工業用水	農業用水
A. 主需要先取型	先進国	2000 年実績比率で按分		
	経済発展国	30%	50%	20%
	産油国	50%	20%	30%
	農業国	30%	20%	50%
B. 生活用水優先型	先進国	2000 年実績比率で按分		
	経済発展国	70%	20%	10%
	産油国	70%	10%	20%
	農業国	70%	10%	20%

ただし、「生活用水」又は「工業用水」の配分量が需要量を上回った場合は、余剰分を他の用途に補填することとした。

6.3 農作物生産量の消費の考え方（「穀物消費」シナリオ）

上記の「水資源シナリオ」と「水配分シナリオ」を主要農作物 4 品目生産モデルに適用すると、水ストレスに応じた「年間推計生産量」を計算することができる（「第 7 章」参照）。

この「年間推計生産量」に対して、以下の「穀物消費シナリオ」を適用することで需要と生産のバランス（過不足量）を算出することができるので気候変動による水資源変化が食料の需給に与える影響を分析することが可能となる。

（1）米(水田)

①「国内供給率」

- ・ FAOSTAT 統計の 2000 年～2007 年の「国内供給量」と実績の生産量から平均的な「国内供給率」を算出した。
- ・ この「国内供給率（＝国内消費量/生産量）」が 1.0 以上の国は、不足分を輸入に頼っていると解釈することができる。一方、「国内供給率」が 1.0 未満の国は、差分を輸出に回していると解釈できる。
- ・ 生産量の増加量よりも「食用需要量」等の増加量の方が大きい場合には、「国内供給率」は大きくなり、1.0 以上（輸入国）になることも想定される。

② 「その他用途消費量率」

- ・米（水田）の全世界平均の消費内訳比率は、第6章表6.1に示したが、国ごとに差異があるので、下表6.4を考慮して、「その他用途消費量率」を設定した。

表 6.4 米（水田）の食用消費率（2000年～2007年）とその他用途消費量率

主 要 国	食用供給率	その他用途消費量率
日 本	1.000	0%
バングラデシュ	0.920	10%
イ ン ド	0.888	
中華人民共和国	0.851	米を主食とする国々 15%
大 韓 民 国	0.846	
インドネシア	0.781	
ベ ト ナ ム	0.595	
タ イ	0.378	
ブ ラ ジ ル	0.873	上記以外の国々 17%
エ ジ プ ト	0.692	
アメリカ合衆国	0.397	

③ 「食用消費量」

- ・第6章で推計したものを使用する。

④ 「国内消費量」

- A = 「年間推計生産量」 × 「国内供給率」
- B = 「年間推計生産量」 × 「その他用途消費率」 + 「食用消費量」
- iii) 「国内消費量」 = (A、B) の大きい方

⑤ 「余剰量」と「不足量」

- ・ C = 「年間推計生産量」 - 「国内消費量」を計算し、「余剰量」または「不足量」を算出する。
- ・ 「国内消費量」から「その他用途消費」を先取りする。すなわち、「不足量」は「食用」に計上することとなる。

⑥ 「備蓄量」

「余剰量」がある場合は、「余剰量」の15%を限度として「備蓄量」とする。なお、この「備蓄量」は、翌年の「年間推計生産量」に加算する。

⑦ 「世界流通量」

上記①～⑥の後でも「余剰量」が残っている場合は、その量をその国の世界流通量（＝輸出量）とする。

⑧ 「生産余剰量」の再配分

i) 「生産余剰量総計」 > 「不足量総計」の場合

生産不足国の「不足分」をゼロにする（輸入に相当）。

残りの生産余剰分を生産余剰国の元の余剰比率で再配分し、生産余剰国の備蓄量に加算する。

ii) 「生産余剰量総計」 < 「不足量総計」の場合

・「生産余剰量総計」の $1/2$ は、不足国の「不足量」の比率で按分する。

・「生産余剰量総計」の $1/2$ は、不足国の「一人当たり GDP」の大きい国から順番に「不足分」を先取りする。結果として、不足分を補填できない国が生じる。

(2) 小麦

基本的な考え方は、米（水田）と同じであるが、異なる点は以下のとおりである。

① 「その他用途消費率」

12%とした（表 6.2 参照）。

② 「飼料用消費量」

・第 6 章で計算した「飼料用小麦」と「飼料用トウモロコシ」の需要量は、別途推計した「一人当たり肉類消費量」を生産するために必要な量となっている。

③ 「国内消費量」

・別途推計した「一人当たり肉類消費量」は、実際の消費量を基に計算していることから、自国生産と輸入を含んだものとなっている。

・肉類の輸出入の変動を予想することは困難であるので、「国内消費量」は以下の B を採用し、余剰量は「世界流通量」とした（肉類の輸出を農作物の輸出で代替したとも言える）。

・ $B = \text{「その他用途消費量」} + \text{「食用消費量」} + \text{「飼料用消費量」}$

④ 「不足量」

・先取りする順番は、「その他用途消費量」、「食用消費量」、「飼料用消費量」とした。

(3) トウモロコシ

基本的な考え方は、米（水田）と同じであるが、異なる点は以下のとおりである。

① 「その他用途消費率」

8%とした（表 6.3 参照）。

② 「飼料用・加工用消費量」

第 6 章で計算した「飼料用消費量」と「加工用消費量」は、肉類及び植物性油の消費量の生産に必要な量である。

③ 「国内消費量」

$B = \text{「その他用途消費量」} + \text{「食用消費量」} + \text{「飼料用・加工用消費量」}$

④ アメリカ合衆国については、2006年以降に、「バイオ燃料」生産用途として**50百万トン**を「国内消費量：B」に加算した。

さらに、2015年以降は、加算量を**90百万トン**にアップする。

⑤ 「不足量」

・先取りする順番は、「バイオ燃料」、「その他用途消費量」、「食用消費量」、「飼料用消費量」「加工用消費量」とした。

(4) 大豆

基本的な考え方は、米（水田）と同じであるが、異なる点は以下のとおりである。

① 「その他用途消費率」

10%とした（表 6.4 参照）。

② 「飼料用消費量」

第6章で計算した「加工用消費量」は、植物性油の消費量の生産に必要な量である。

③ 「国内消費量」

$B = \text{「その他用途消費量」} + \text{「食用消費量」} + \text{「加工用消費量」}$

④ 「不足量」

・先取りする順番は、「その他用途消費量」、「食用消費量」、「加工用消費量」とした。

6.4 影響分析検討ケース

検討ケースは、表流水取水の「新規水資源開発」が3ケース、「水配分シナリオ」が2ケース、「S0」の場合はAとBは同じ結果となるのであるので、大きく分けると5ケースとなる。

さらに、それぞれについて、以下のような「計算オプション」があるので、全体の計算数は50ケースとなる。

表 6.5 影響分析シナリオ一覧 (S1×A) の例

シナリオ No	新規 水資源 開発	水配分 シナリオ	計算オプション				米国 バイオ 燃料
			渇水 考慮	生活 節水	工業 回収	地下 水減	
S1A-01	S1	A	×	×	×	×	先取
S1A-02	S1	A	○	×	×	×	先取
S1A-03	S1	A	×	○	×	×	先取
S1A-04	S1	A	×	×	17%	×	先取
S1A-05	S1	A	×	×	34%	×	先取
S1A-06	S1	A	×	×	×	5%	先取
S1A-07	S1	A	×	○	17%	×	先取
S1A-08	S1	A	×	○	17%	5%	先取
S1A-09	S1	A	○	○	17%	×	先取
S1A-10	S1	A	○	○	17%	5%	先取

6.5 影響分析の評価指標

気候変動による社会的な影響を評価するために、以下の5項目を指標として分析を行った。

(1) 「生活水ストレス」の推移

$$\cdot \text{生活水ストレス} = \text{生活用水供給量} / \text{生活用水需要量}$$

(2) 「一人一日当たりの生活用水 50 (リットル/人/日)」に満たない人口の推移

(注：この50 (リットル/人/日) は、都市用水分を含んだ数値である)

(3) 「工業水ストレス」の推移

$$\cdot \text{工業水ストレス} = \text{工業用水供給量} / \text{工業用水需要量}$$

(4) 「主要農作物 4 品目」の過不足量等の推移

(5) 「一人当たり食品消費カロリー (kcal/人/日)」の推移

・ 2100 (kcal/人/日) に満たない人口 (WHO 「WRI2001」)

<備考：農作物供給量から消費カロリーを算出する推計方法>

i) 食用消費カロリー

・ 「需要量」と「供給量」の比率から求める。

$$C_x = C_6 \times \frac{S_x}{D_x}$$

ただし、

C_6 : 第 6 章で推計した X 年の「一人当たり消費カロリー」(kcal/日/人)

C_x : X 年の「一人当たり消費カロリー」(kcal/日/人)

S_x : 生産量と輸入量を合計した「供給量」(百万トン)

D_x : 第 6 章で推計した「需要量」(百万トン)

ii) 肉類消費カロリー

・ 肉類の生産に消費される農作物は、「小麦」と「トウモロコシ」のみと仮定する。

・ 2000 年～2009 年の「飼料用消費量」とアメリカ合衆国のカロリー値から「小麦」と「トウモロコシ」の寄与率を算定する。

$$\text{小麦寄与率 } \alpha_w = \frac{263.9 \times 1052.11}{263.9 \times 1052.11 + 265.8 \times 4344.69} = 0.194$$

$$\text{トウモロコシ寄与率 } \beta_M = 0.806$$

・ この寄与率と「需要量」と「供給量」の比率から求める。

$$C_x = C_6 \times \left(\frac{S W_x \times \alpha_w}{D W_x} + \frac{S M_x \times \beta_M}{D M_x} \right)$$

ただし、

$S W_x$: X 年の生産量と輸入量を合計した「小麦供給量」(百万トン)

$D W_x$: 第 6 章で推計した X 年の「小麦需要量」(百万トン)

$S M_x$: X 年の生産量と輸入量を合計した「トウモロコシ供給量」(百万トン)

$D M_x$: 第 6 章で推計した X 年の「トウモロコシ需要量」(百万トン)

iii) 植物性油消費カロリー

- ・表 9.5 から「大豆油」と「トウモロコシ油」の比率を算出する。

表 6.6 世界の植物性油生産量の推移 (単位：千トン)

(出典：ISTA Mielke 社「Oil World 誌」)

	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	平均値	比率
大豆油	32,823	34,856	36,473	37,673	36,010	35,567	0.442
トウモロコシ油	2,089	2,228	2,312	2,366	2,305	2,260	0.028
その他油	38,783	42,239	42,724	42,7398	46,972	42,691	0.530
合計	73,695	79,323	81,509	82,778	85,287	80,518	1.000

(注)「その他油」は、食用に消費される菜種油、ひまわり油、落花生油、綿実油、ゴマ油、オリーブ油であり、洗剤や石鹼の原材料に消費されるパーム油等は含めていない。

- ・この比率と「需要量」と「供給量」の比率から求める。

$$C_x = C_6 \times \left(0.530 + \frac{OS_x \times 0.442}{DS_x} + \frac{OM_x \times 0.028}{DM_x} \right)$$

ただし、

OS_x : X年の生産量と輸入量を合計した「大豆供給量」(百万トン)

DS_x : 第6章で推計したX年の「大豆需要量」(百万トン)

OM_x : X年の生産量と輸入量を合計した「トウモロコシ供給量」(百万トン)

DM_x : 第6章で推計したX年の「トウモロコシ需要量」(百万トン)

iv) 上記以外の消費カロリー

- ・「いも類」、「牛乳」「その他植物性食物」、「その他動物性食物」は、第6章で推計した値を使用した。

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

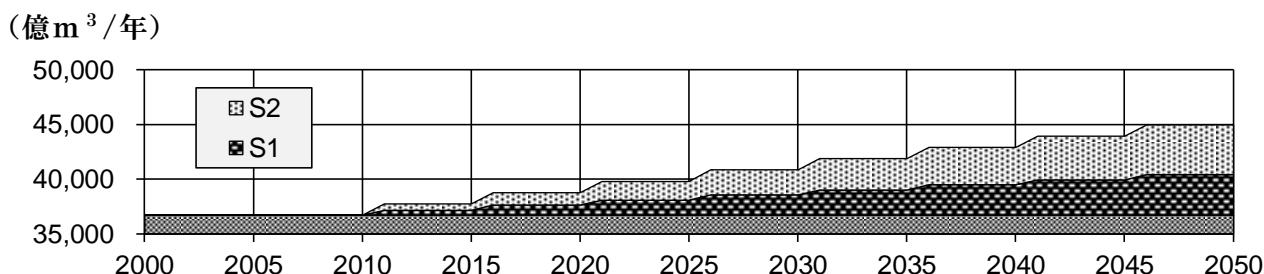
7.1 新規水資源開発

第6章で設定した「新規水資源開発率」の計算結果は、以下のとおりである。

表 7.1 「新規水資源開発」による用水供給量世界合計の 2050/2000 倍率

新規水資源開発 ケース	2050/2000
S1	1.101
S2	1.225

図 7.1 「新規水資源開発」による用水供給量世界合計



7.2 「渇水」の考慮

本研究に使用した水資源賦存量の推計値は、図 3.1 に示したように気候変動の影響を反映して大きな変動を示しているが、大きく減少している年は、「渇水」が発生していると考えられることもできる。第 10 章で説明したこの変動を反映した表流水からの取水量の削減を考慮した水資源量の影響は以下のとおりである。

図 7.2 「渇水」を考慮した用水供給量世界合計（ケース S1）

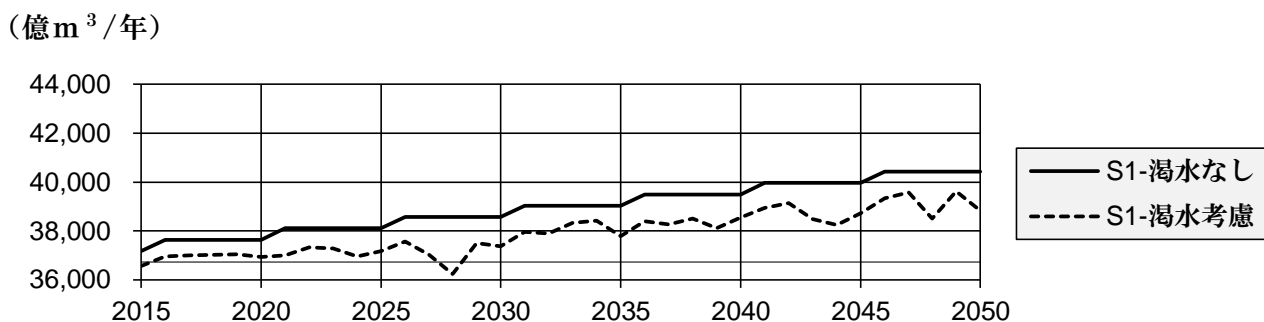
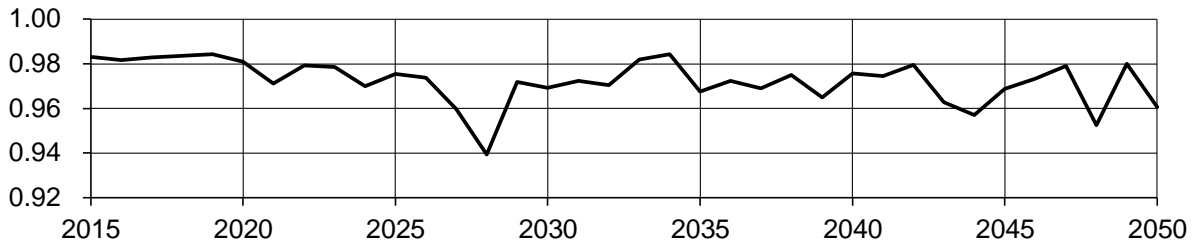


図 7.3 渇水考慮後の世界合計の水資源供給量比率



主要国の渇水を考慮した取水量比率の変化は、気候変動による水資源賦存量の変化と対応しているが、北半球の中華人民共和国、インド、アメリカ合衆国では影響は少ない。一方、南半球のブラジル、南アフリカでは、非常に大きな影響を受けるものと予想されている（図 7.4、図 7.5）。

図 7.4 主要国の渇水率

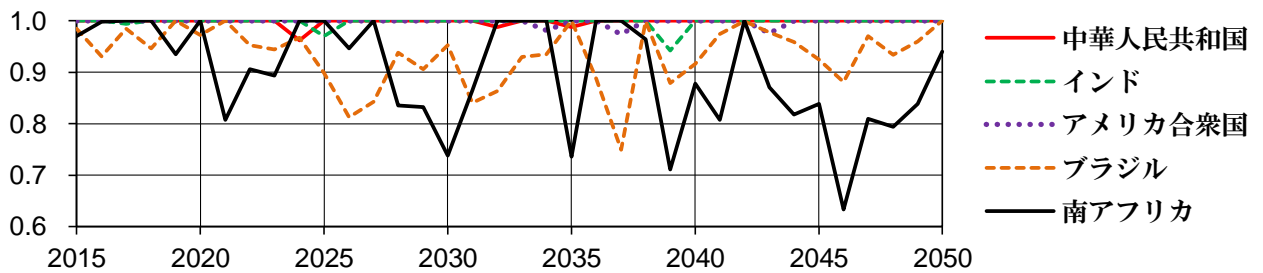
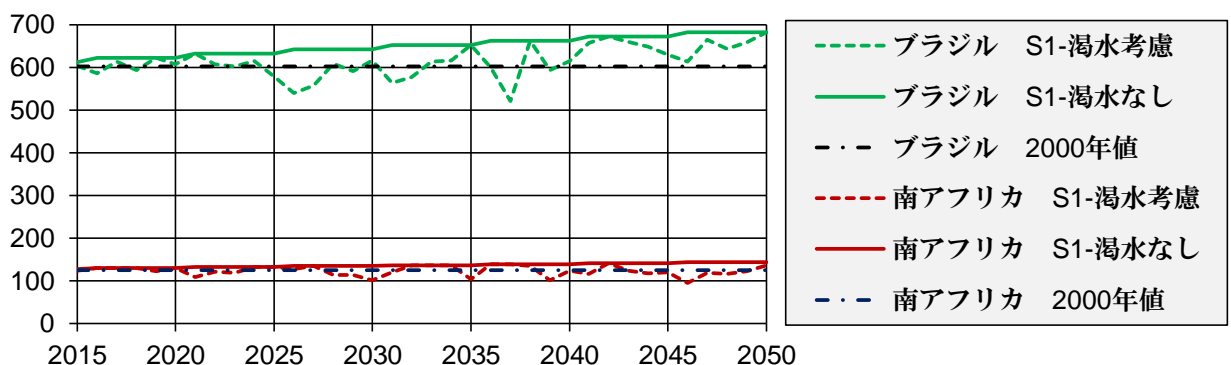
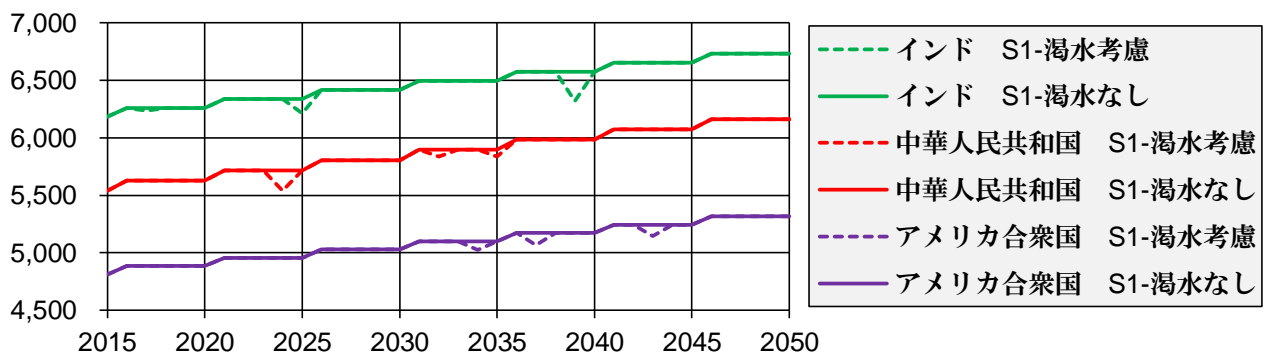


図 7.5 主要国の「渇水」を考慮した用水供給量（ケース S1）

(億 m^3 /年)



7.3 生活用水が「50 (リットル/人/日)」に満たない人口

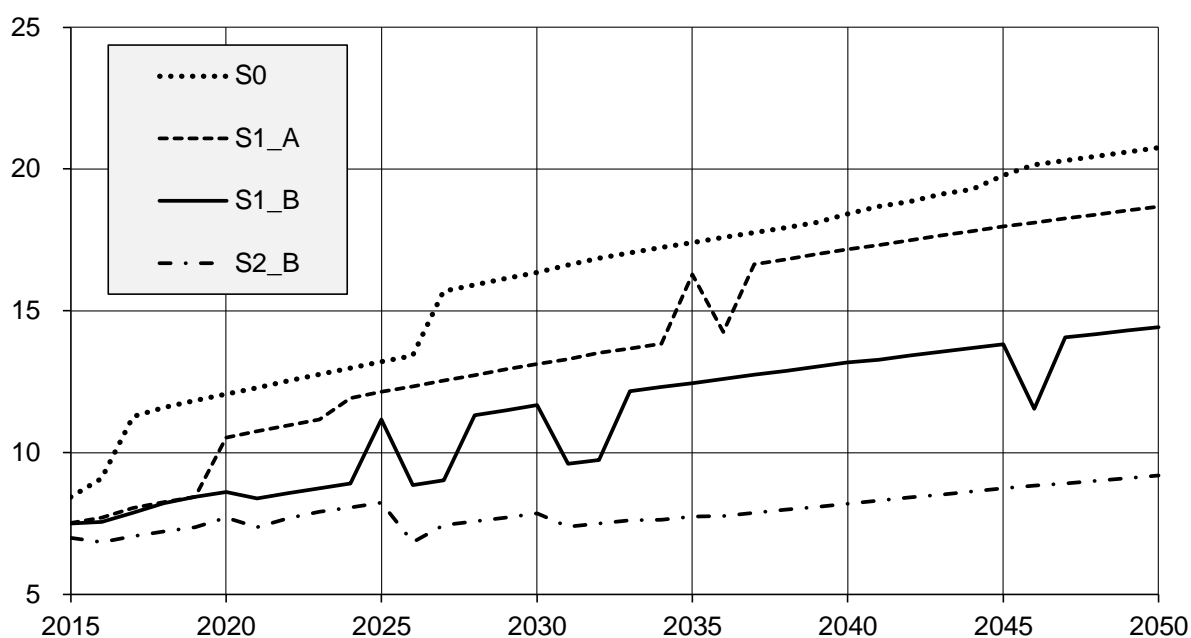
7.3.1 「新規水資源開発」と「水配分シナリオ」の効果

(1) 全世界合計

- 生活用水が「50 (リットル/人/日)」に満たない国は、アフリカとアジアの農業国がほとんどを占めている。
- 農業国の S1_A (新規水資源開発 2 %、生活用水配分率 30%) では、人口増加に比べて生活用水が不足するものと推察される。結果として、2050 年では、全世界人口の 20% を超える 19 億人弱が「50 (リットル/人/日)」に満たない人口となると予想される。
- S1_B (新規水資源開発 2 %、生活用水配分率 70%) では、大幅に改善されるが、2050 年では 14.5 億人が「50 (リットル/人/日)」に満たない人口となると予想される。しかし、生活用水の配分を優先した場合は、農業用水が不足し、農作物の生産が低い伸びにとどまることが想定されることから、生活用水配分率 70% は、かなりハードルの高い数値であると言える。
- S2_B (新規水資源開発 5 %、生活用水配分率 70%) でも、改善度合いはそれ程大きくはない。これは、水資源の絶対量が不足している国があることを意味している。
- 水資源開発だけでなく取水施設や供給設備の建設・維持管理など解決すべき課題も数多くある。

図 7.6 生活用水が「50 (リットル/人/日)」に満たない人口 (全世界合計)

(億人)

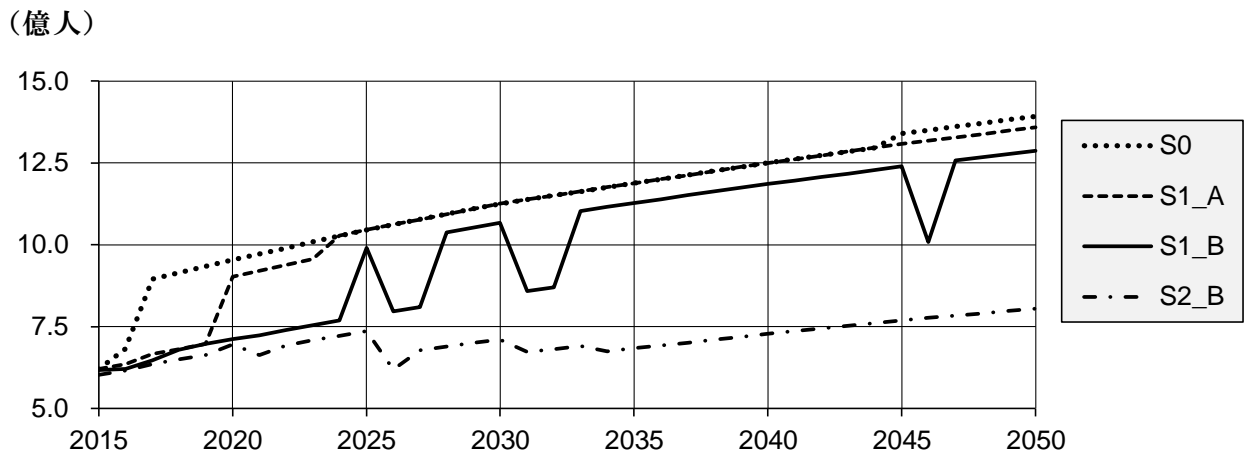


(2) 地中海沿岸国を除くアフリカ

- S1_A（新規水資源開発 2%、生活用水配分率 30%）では、生活用水の供給量が絶対的に不足している。
- S1_B（新規水資源開発 2%、生活用水配分率 70%）、S2_B（新規水資源開発 5%、生活用水配分率 70%）で改善効果がみられるが、それでも多くの人口が生活用水不足の状態に置かれている。2050 年では、この地域の生活用水が「50（リットル/人/日）」に満たない人口は、全世界合計の 87%を占めている。

図 7.7 生活用水が「50（リットル/人/日）」に満たない人口

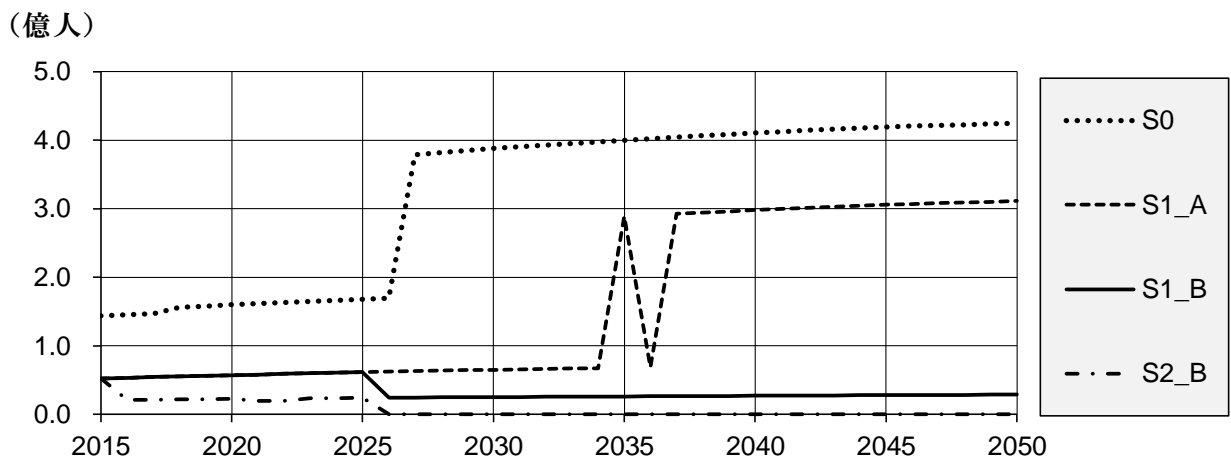
（地中海沿岸国を除くアフリカ）



(3) 4か国を除く東アジア

- S1_A（新規水資源開発 2%、生活用水配分率 30%）の急激な増加は、バングラデシュによるものである。
- S1_B（新規水資源開発 2%、生活用水配分率 70%）では、カンボジア、ネパールを残し、他は生活用水が「50（リットル/人/日）」を超えている。

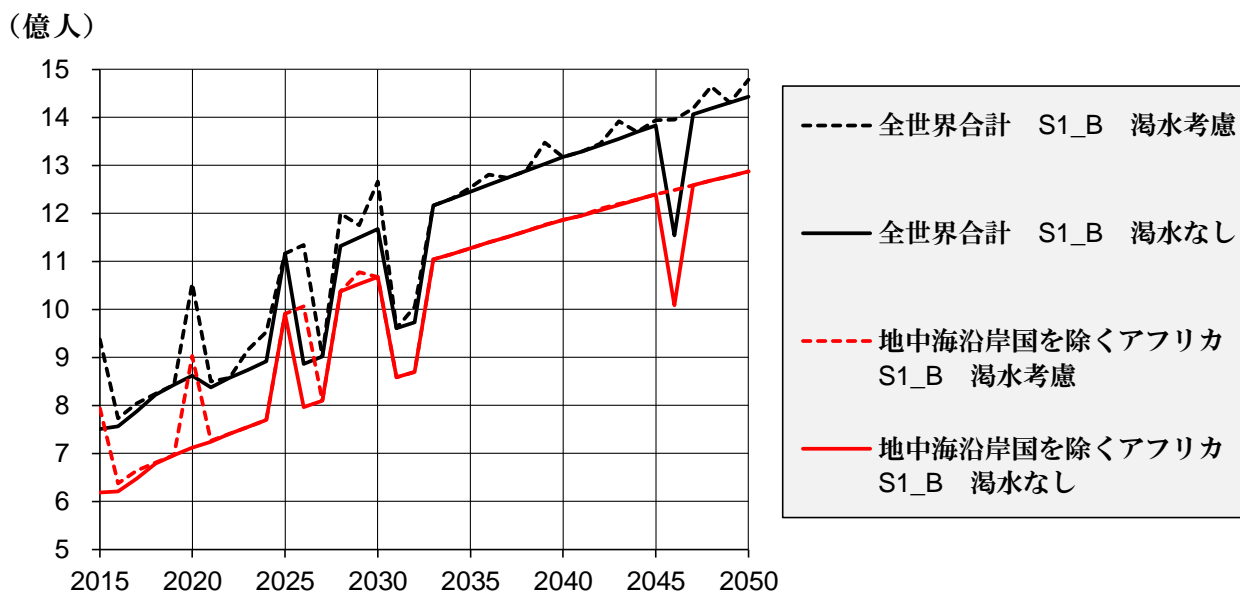
図 7.8 生活用水が「50（リットル/人/日）」に満たない人口（4か国を除く東アジア）



7.3.2 「渇水」の影響

- 4か国を除く東アジア地域では、「渇水」の影響はほとんど見られない。
- 地中海沿岸国を除くアフリカ地域では、「渇水」による大きな影響が認められる。

図 7.9 生活用水が「50 (リットル/人/日)」に満たない人口～「渇水」の影響



7.4 「主要農作物 4 品目」の過不足量等

7.4.1 米（水田）－「自国生産量の過不足量」及び「食用」

(1) 自国生産量の過不足量世界合計

- S1_A（農業国：新規水資源開発 2 %、農業用水配分率 50%）の生産量は、2050 年／2000 年で 1.13 倍の増加となっているが、米の生産量の増加に対して人口増加の方が上回っているために大きな不足量が生じている。
- フィリピンの 2050 年／2000 年の生産量比率は 1.55 倍、インドは 1.18 倍と生産量は増加している。しかし、人口増加による需要が生産を大きく超過している。
- S2_A（農業国：新規水資源開発 5 %、農業用水配分率 50%）でも改善幅は小さい。

図 7.10 米（水田）の自国生産量の過不足量世界合計

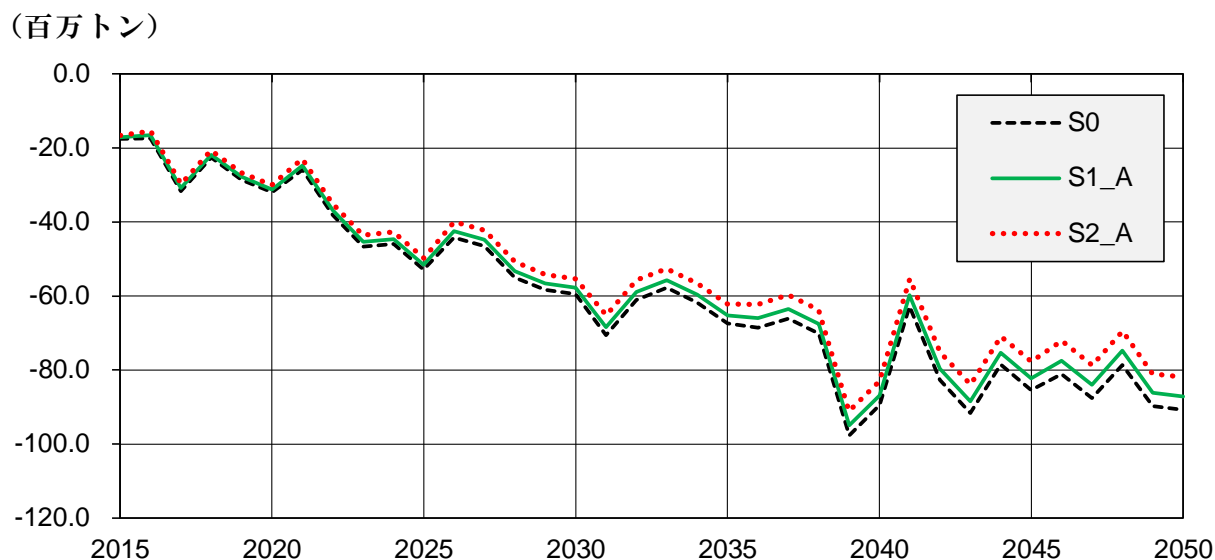


表 7.2 米（水田）の余剰国と不足国の上位 5 か国（S2_A－2050 年）

(単位：百万トン)

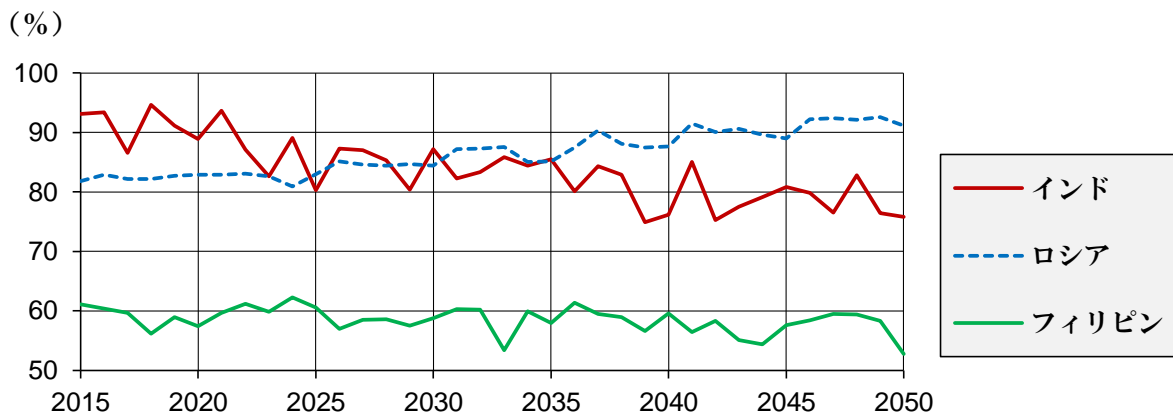
余 剰 国		
タ	イ	16.3
ベ	ト ナ ム	11.7
ア	メ リ カ 合 衆 国	4.4
ミ	ヤ ン マ ー	2.4
カ	ン ボ ジ ア	1.7
全 世 界 合 計		42.2

不 足 国		
イ	ン ド	-41.2
フ	ィ リ ピ ン	-13.7
イ	ラ ン	-5.4
サ	ウ ジ ア ラ ビ ア	-4.7
ペ	ル ー	-3.1
全 世 界 合 計		-124.1

(2) 自国生産量による食用自給率

- S1_A（農業国：新規水資源開発 2 %、農業用水配分率 50%）で、日本、中華人民共和国、インドネシア、バングラデシュ、アメリカ合衆国、ブラジルの食用自給率は、ほぼ 100%となっている。
- 南アフリカは、生産量が少ないので食料自給率は、1%以下となっている。
- ロシアは、自給率が 90%を超えるまでに向上している。
- インドは、自給率が 90%を超えるまでに向上している。
- インドは、人口増加の影響で漸減している。
- フィリピンは、生産量と人口増加が均衡して 60%程度の横ばいとなっている。

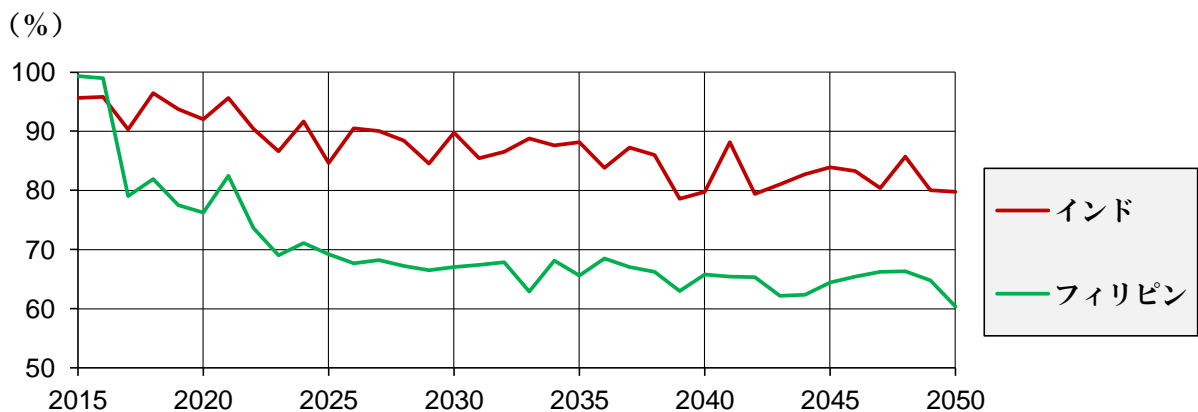
図 7.11 米（水田）の自国生産量による食用自給率（S1_A）



(3) 再配分後の食用充足率

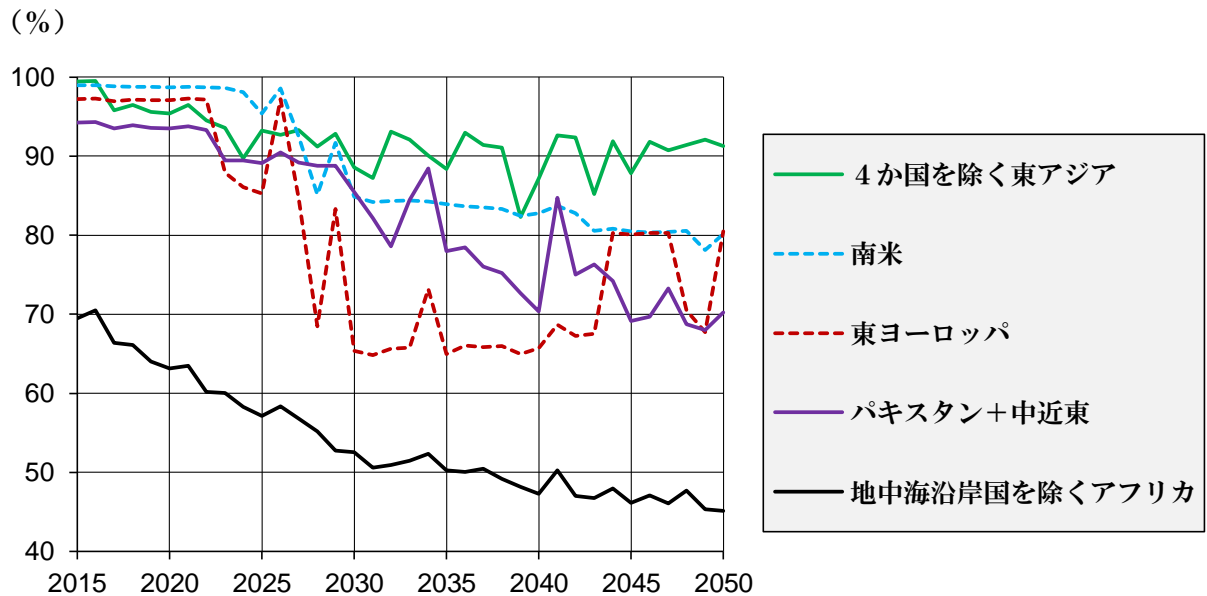
- 再配分は、「生産余剰量総計」の $1/2$ を不足国の「不足量」の比率で按分し、残りの $1/2$ を不足国の「一人当たり GDP」の大きい国から順番に「不足分」を先取りするという設定をした。結果として、不足分を補填できない国が生じる。
- ロシアと南アフリカの再配分後の食用充足率は、100%となった。
- インドとフィリピンは、再配分によって 5%程度の改善はみられるが、不足を解消できていない。

図 7.12 米（水田）の再配分後の食用充足率（S1_A）



- 4か国を除く東アジア以外の地域は、充足率が低くなっている。
- S2_A では、相対的に経済力が高い東ヨーロッパは、10%程度の改善が見られたが、他の地域の改善はわずかであった。

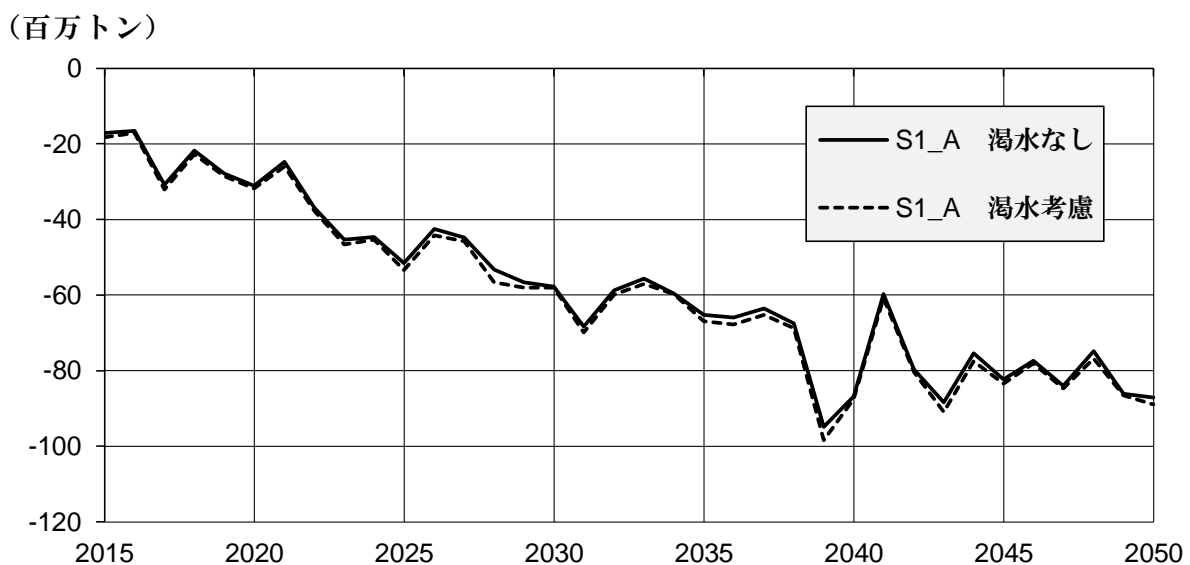
図 7.13 米（水田）の再配分後の地域別の食用充足率（S1_A）



(4) 渇水の影響

- 米(水田)主要生産地域である東アジアで渇水の影響が小さいことを受けて、全世界的に見ても渇水の影響は小さい。

図 7.14 米（水田）の過不足量への渇水の影響（S1_A）



7.4.2 小麦 – 「自国生産量の過不足量」及び「食用」

(1) 自国生産量の過不足量世界合計

- S1_A（農業国：新規水資源開発 2 %、農業用水配分率 50%）の生産量は、2050 年／2000 年で 1.23 倍の増加となっているが、不足量が生じている。
- 中華人民共和国は、降雨量の影響による変動が大きいですが、全般的には不足の方が多。
- ブラジルは、2050 年／2000 年の生産比率で 3.2 倍に増加しているが、なお不足を生じている。
- S2_A（農業国：新規水資源開発 5 %、農業用水配分率 50%）では、20 百万トン、1/4 程度の改善がみられるが、不足量は依然として多い。

図 7.15 小麦の自国生産量の過不足量世界合計

(百万トン)

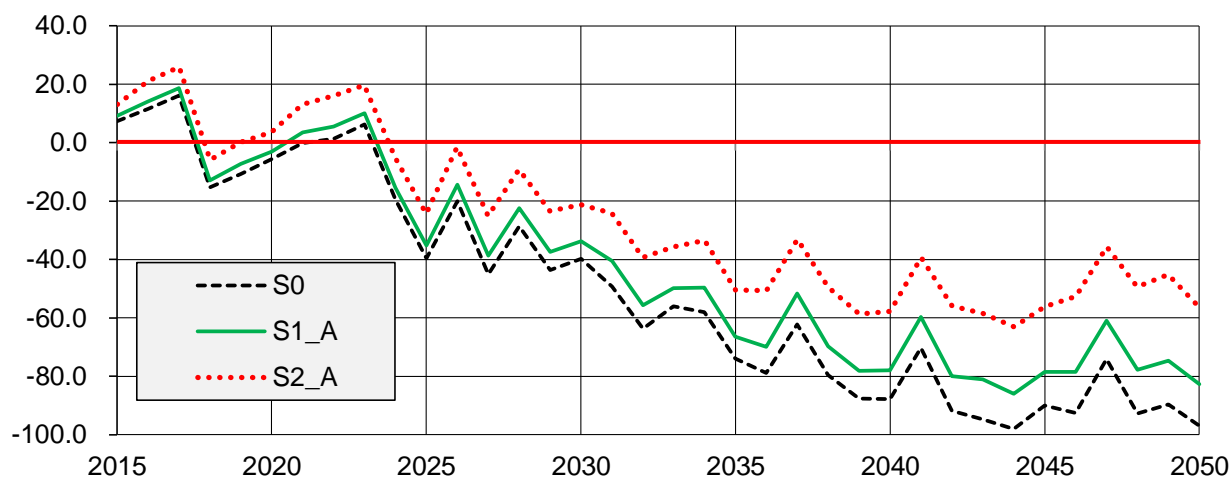


表 7.3 小麦の余剰国と不足国の上位 5 か国 (S2_A-2050 年)

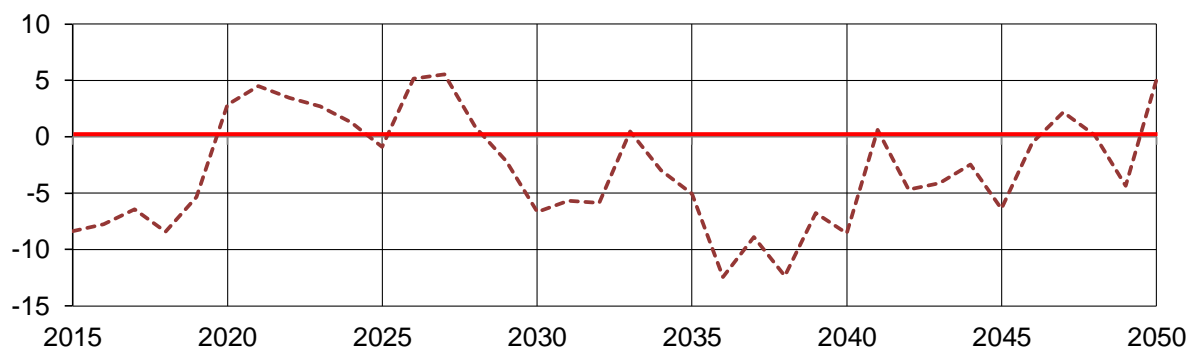
(単位：百万トン)

余 剰 国	
ロ シ ア	32.5
オーストラリア	25.4
カ ナ ダ	19.1
ウ ク ラ イ ナ	18.6
アメリカ合衆国	16.0
全 世 界 合 計	209.5

不 足 国	
イ ン ド	-31.4
ブ ラ ジ ル	-21.5
エ ジ プ ト	-15.5
インドネシア	-14.3
日 本	-10.1
全 世 界 合 計	-264.9

図 7.16 中華人民共和国の小麦の自国生産量の過不足量 (S1_A)

(百万トン)

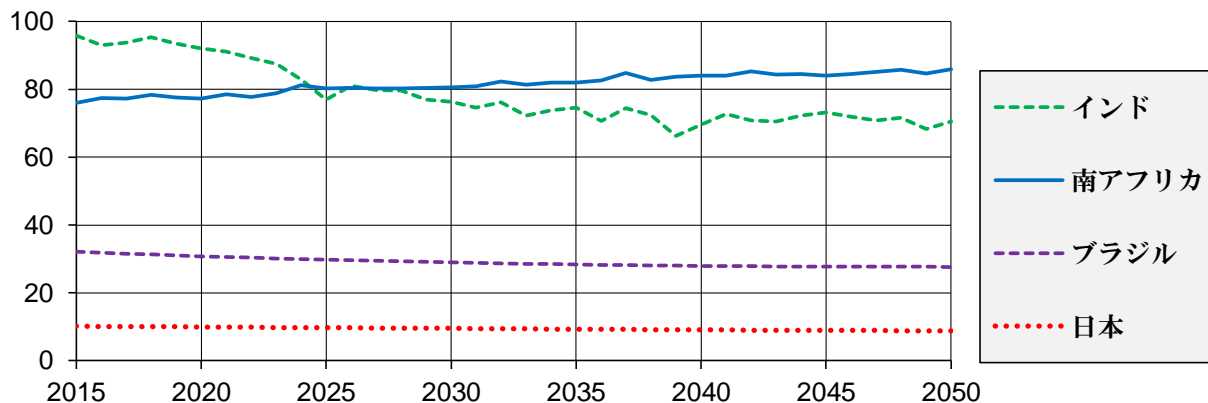


(2) 自国生産量による食用自給率

- S1_A (農業国：新規水資源開発 2 %、農業用水配分率 50%) で、中華人民共和国、アメリカ合衆国、ロシアの食用自給率は、100%となっている。
- インドは、人口増加の影響で漸減している。
- 南アフリカは、微増傾向となっている。
- ブラジルは、2050年/2000年の生産比率で 3.2 倍に増加しているものの、食用自給率は微減傾向となっている。
- インドネシアは、小麦を生産していないので自給率は 0%である。

図 7.17 小麦の自国生産量による食用自給率 (S1_A)

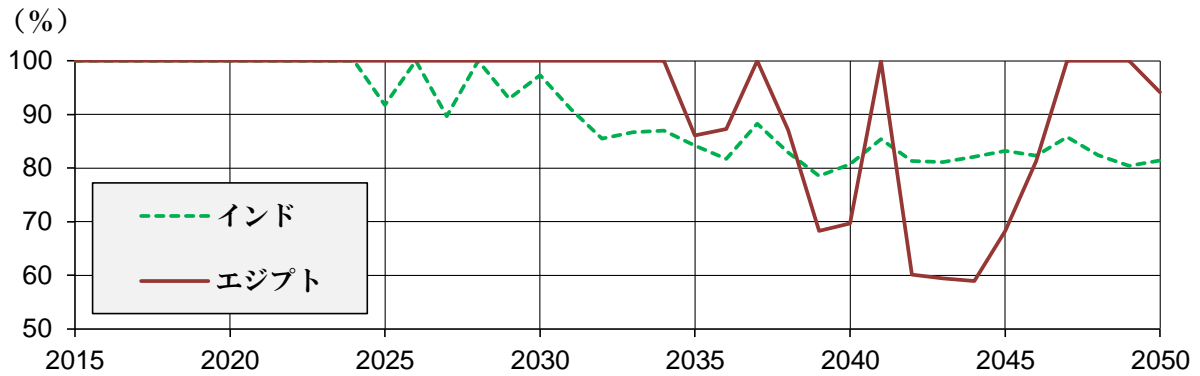
(%)



(3) 再配分後の食用充足率

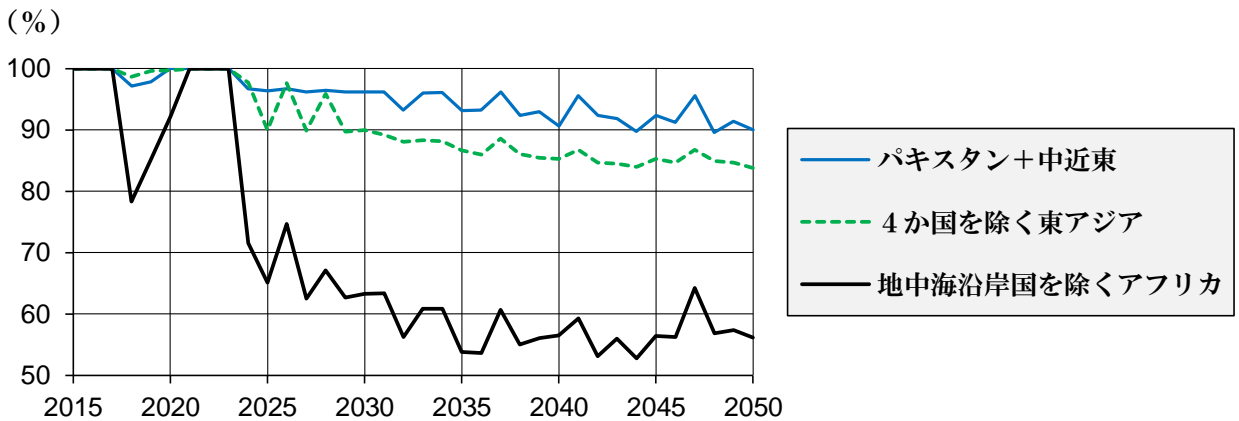
- 日本、中華人民共和国、インドネシア、ブラジル、南アフリカの再配分後の食用充足率は、100%となった。
- インドは再配分によって若干の改善が認められるものの不足を解消できていない。
- エジプトは、相対的に経済力が高い国の生産量と再配分量との関係で不足を解消できない場合が生じている。

図 7.18 小麦の再配分後の食用充足率 (S1_A)



- ・地域別では、東西ヨーロッパ、南米の再配分後の食用自給率は、ほぼ 100% となっている。
- ・中近東と東アジアは、人口増加の影響で漸減となっている。
- ・地中海沿岸国を除くアフリカは、低い自給率で横ばいとなっている。

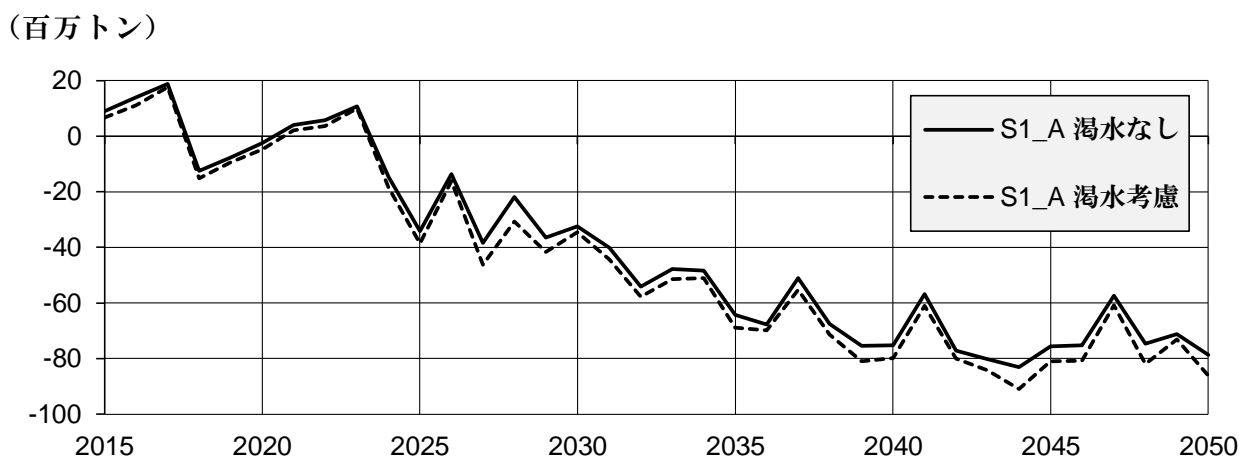
図 7.19 小麦の再配分後の地域別の食用充足率 (S1_A)



(4) 渇水の影響

- ・渇水により最大で約 10 (百万トン) の生産量が減少している。

図 7.20 小麦の過不足量への渇水の影響 (S1_A)

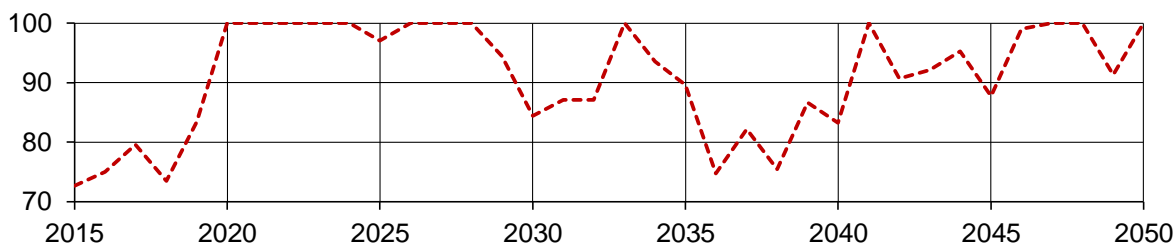


7.4.3 小麦 — 「飼料用」

(1) 自国生産量による飼料用自給率

- S1_A（農業国：新規水資源開発 2 %、農業用水配分率 50%）で、アメリカ合衆国、ロシアの飼料用自給率は、100%となっている。
- 食用供給量を先取りしたことにより飼料用に充当する自国生産量が残っていないために、日本、インドネシア、インド、ブラジル、南アフリカの飼料用自給率は、0%となっている。
- 中華人民共和国は、変動が大きいものの 90%程度の飼料用自給率を確保できている。

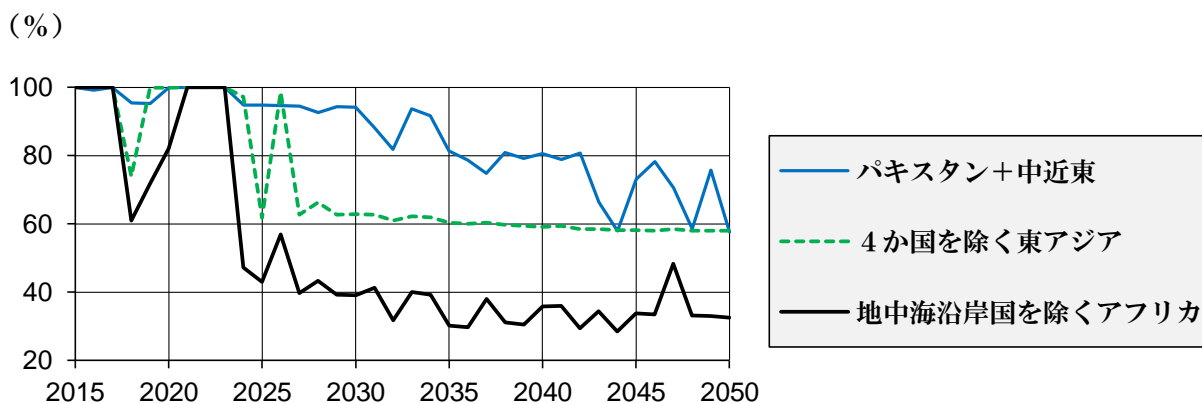
図 7.21 中華人民共和国の小麦の自国生産量による飼料用自給率（S1_A）（%）



(2) 再配分後の飼料用充足率

- 日本、中華人民共和国、インドネシア、ブラジル、南アフリカの再配分後の飼料用充足率は、100%となった。
- インドは 2030 年以降、エジプトは 2035 年以降、再配分全量が食用の補てんに先取りされたために、飼料用充足率が 0%となってしまう年が生じている。
- 地域別では、東西ヨーロッパ、南米の再配分後の飼料用自給率は、ほぼ 100%となっている。
- 東アジアと地中海沿岸国を除くアフリカは、低い自給率で横ばいとなっている。

図 7.22 小麦の再配分後の地域別の飼料用充足率（S1_A）



7.4.4 トウモロコシ – 「自国生産量の過不足量」及び「食用」

(1) 自国生産量の過不足量世界合計

- S1_A（農業国：新規水資源開発 2 %、農業用水配分率 50%）の生産量は、2050 年／2000 年で 1.59 倍、353 百万トンの増加となっているが、不足量がおよそ 350 百万トンと非常に大きい。
- S2_A（農業国：新規水資源開発 5 %、農業用水配分率 50%）の改善の程度が小さい理由は、最大の生産国がアメリカ合衆国であるからである。

図 7.23 トウモロコシの自国生産量の過不足量世界合計

(百万トン)

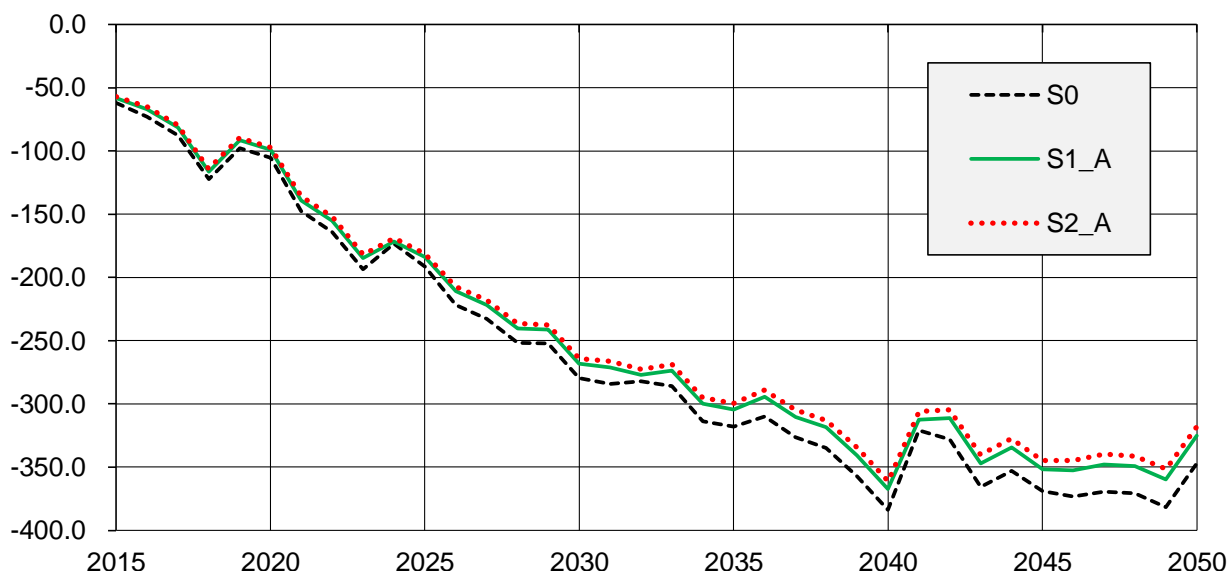


表 7.4 トウモロコシの余剰国と不足国の上位 5 か国 (S2_A-2050 年)
(単位：百万トン)

余 剰 国		不 足 国	
アメリカ合衆国	127.2	中華人民共和国	-74.3
ウクライナ	10.5	インド	-47.3
カンボジア	10.3	日本	-20.6
アルゼンチン	7.2	ロシア	-20.3
ハンガリー	6.1	パキスタン	-17.0
全世界合計	199.1	全世界合計	-518.4

- 全世界合計の余剰量のうち、アメリカ合衆国が 63.8% を占めている。

(2) 自国生産量による食用自給率

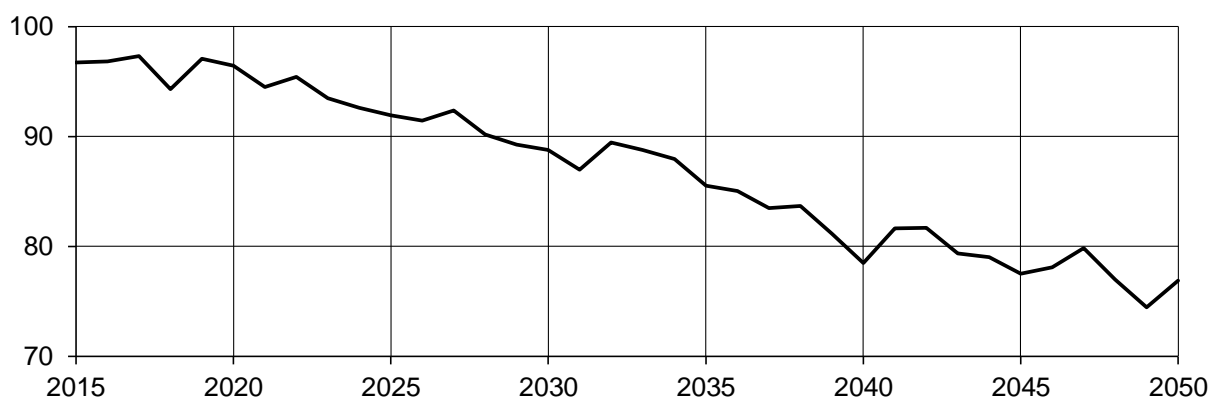
- S1_A（農業国：新規水資源開発 2 %、農業用水配分率 50%）で、中華人民共和国、インドネシア、アメリカ合衆国、ロシア、ブラジル、南アフリカの食用自給率は、100%となっている。
- 日本は、生産量がわずかなので食用自給率は、0.01%程度である。
- インド食用自給率は、2030 年以降、80%で横ばいとなっている。

(3) 再配分後の食用充足率

- S1_A（農業国：新規水資源開発 2 %、農業用水配分率 50%）で、日本、インドの再配分後の食用充足率は、100%となっている。
- 地域別では、東西ヨーロッパ、中南米、東アジア、中近東の再配分後の飼料用自給率は、ほぼ 100%となっている。
- 地中海沿岸国を除くアフリカは、人口増加の影響で食用自給率が大幅に低下傾向にある。

図 7.24 アフリカのトウモロコシの再配分後の食用充足率 (S1_A)

(%)



(4) 渇水の影響

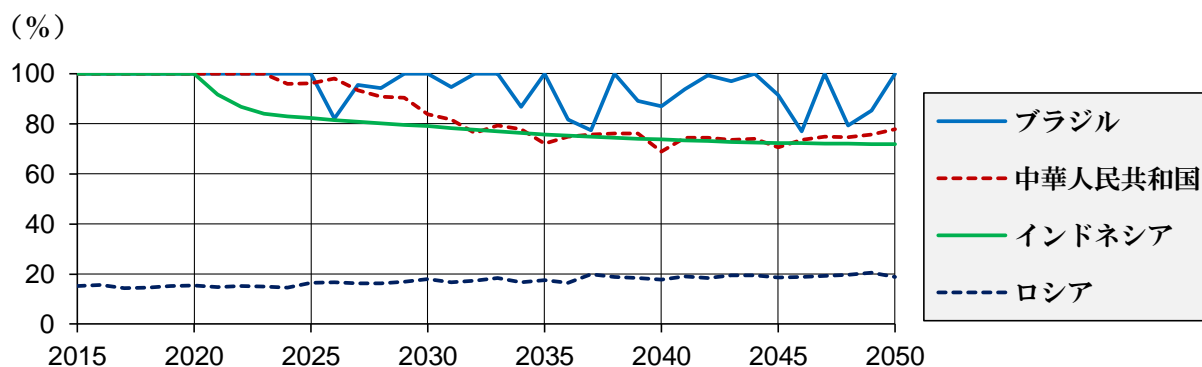
- 最大の生産国であるアメリカ合衆国の渇水の影響がほぼ皆無であることから、全世界的に見ても渇水の影響は非常に小さい。

7.4.5 トウモロコシ – 「飼料用」

(1) 自国生産量による飼料用自給率

- S1_A（農業国：新規水資源開発 2 %、農業用水配分率 50%）で、アメリカ合衆国、南アフリカの飼料用自給率は、100%となっている。
- 食用供給量を先取りしたことにより飼料用に充当する自国生産量が残っていないために、インドの飼料用自給率は、0%となっている。
- ブラジルは、変動が大きいですが 100%に近い飼料用自給率を確保できている。
- 中華人民共和国とインドネシアは、漸減してはいるが、70%～80%の飼料用自給率を確保できている。
- ロシアは、20%程度の低い飼料用自給率で横ばいとなっている。

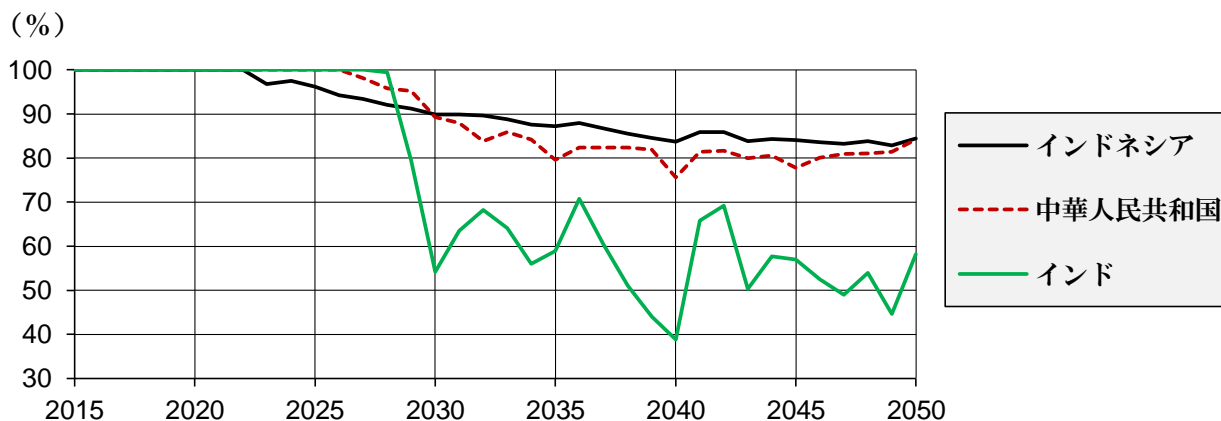
図 7.25 トウモロコシの自国生産量による飼料用自給率 (S1_A)



(2) 再配分後の飼料用充足率

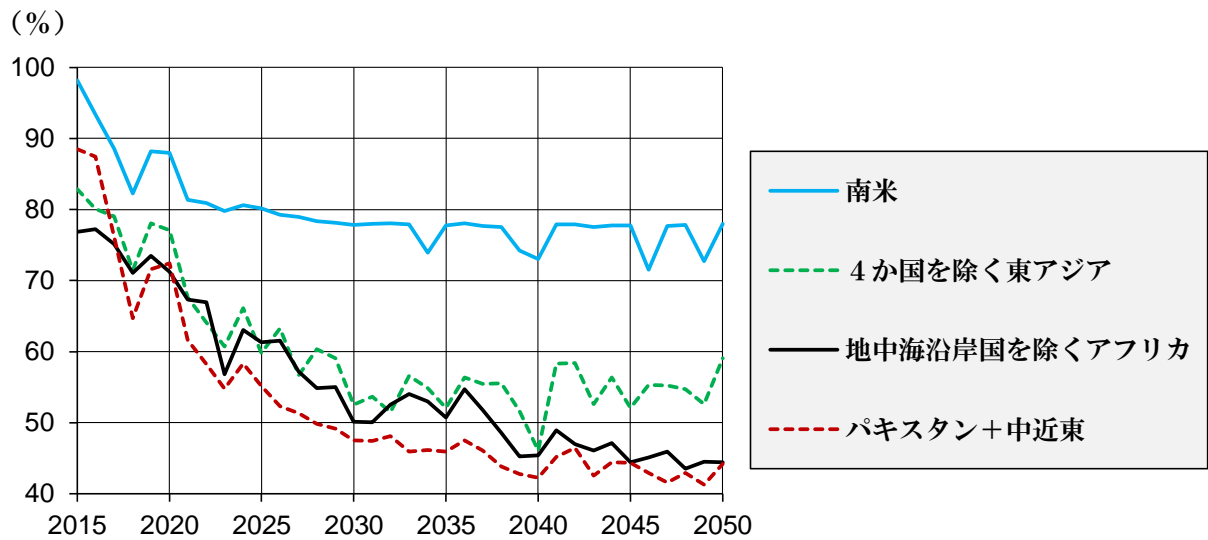
- S1_A（農業国：新規水資源開発 2 %、農業用水配分率 50%）で、日本、ロシア、ブラジルの再配分後の飼料用充足率は、ほぼ 100%となっている。
- 中華人民共和国とインドネシアは、再配分後でも 80%程度の飼料用充足率となっている。
- インドは、再配分後でも 60%程度の飼料用充足率となっている。

図 7.26 トウモロコシの再配分後の飼料用充足率 (S1_A)



- 地域別では、西ヨーロッパはほぼ 100%、東ヨーロッパは 90%以上、南アメリカは 80%弱の飼料用充足率を確保できている。
- 東アジア、中近東、地中海沿岸国を除くアフリカは、50%前後の低い値で横ばいとなっている。

図 7.27 トウモロコシの再配分後の地域別の飼料用充足率 (S1_A)



7.4.6 トウモロコシ — 「加工用」

(1) 自国生産量による加工用自給率

- ・ S1_A（農業国：新規水資源開発 2 %、農業用水配分率 50%）で、アメリカ合衆国、カナダ、アルゼンチン、フランスの加工用自給率は、100%となっている。南アフリカ、イタリアもほぼ 100%を確保できている。
- ・ 日本とロシアの加工用自給率は、0%、インドもほぼ 0%となっている。
- ・ ブラジルは、変動が大きいのが 100%に近い加工用自給率を確保できている。
- ・ 中華人民共和国、ブラジルは 2020 年頃までは 100%に近い加工用自給率を確保できているが、それ以降は急激に減少し 0%となっている。
- ・ インドネシアは 2015 年で約 50%、それ以降は急激に減少し、2020 年には 0%となっている。

(2) 再配分後の飼料用充足率

- ・ 日本とロシアは、再配分後の加工用自給率は 100%となっている。
- ・ 中華人民共和国、インドネシア、インドは、再配分によって不足を解消できず、2020 年代以降の加工用自給率は 0%となっている。0%になる理由は、「食用→飼料用→加工用」の順番で先取りする設定にしたことにより、再配分量が飼料用の補てんに使用され、加工用まで回らなかったことによる。
- ・ ブラジルは変動が激しくなっている。これは、他国との関係で再配分できた年と再配分ができなかった年があることを意味している。

図 7.28 トウモロコシの再配分後の加工用自給率 (S1_A)

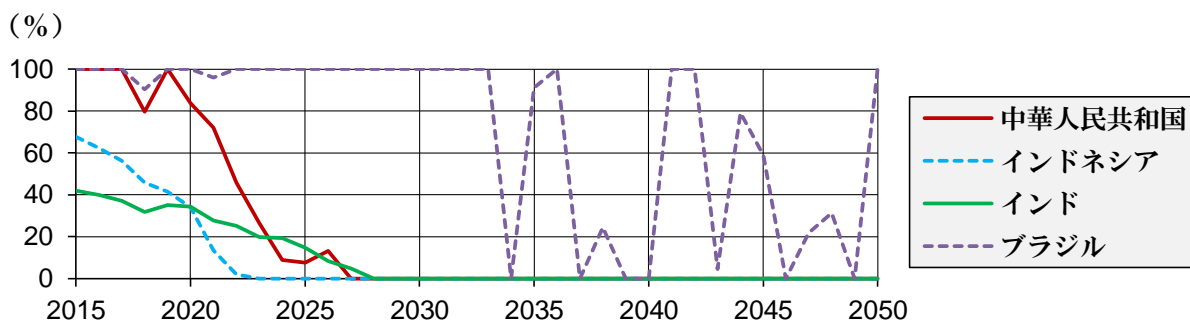
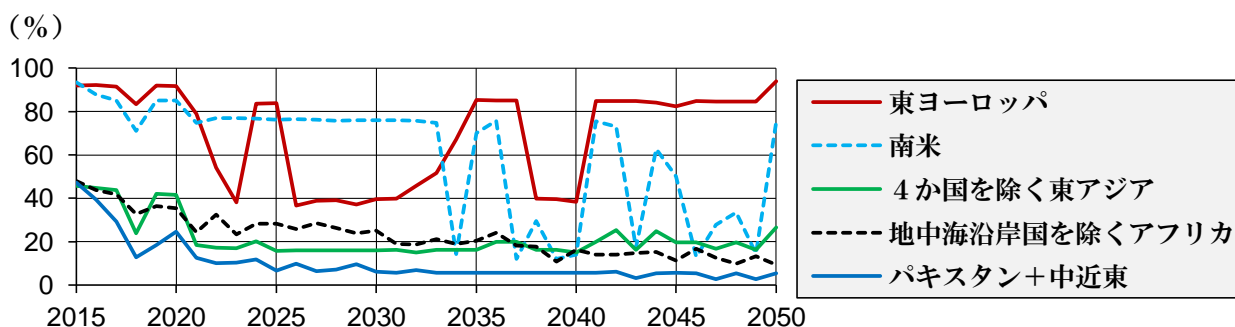


図 7.29 トウモロコシの再配分後の地域別の加工用充足率 (S1_A)



7.4.7 大豆 – 「自国生産量の過不足量」及び「食用」

(1) 自国生産量の過不足量世界合計

- S1_A（農業国：新規水資源開発 2 %、農業用水配分率 50%）の生産量は、2050 年／2000 年で 1.69 倍、112 百万トンの増加となっているが、自国生産量が余剰となっている国は、7 か国しかない。
- S2_A（農業国：新規水資源開発 5 %、農業用水配分率 50%）の改善の程度が小さい理由は、「天水ストレス」が 1.0 となっている国が多いことによる。

図 7.30 大豆の自国生産量の過不足量世界合計

(百万トン)

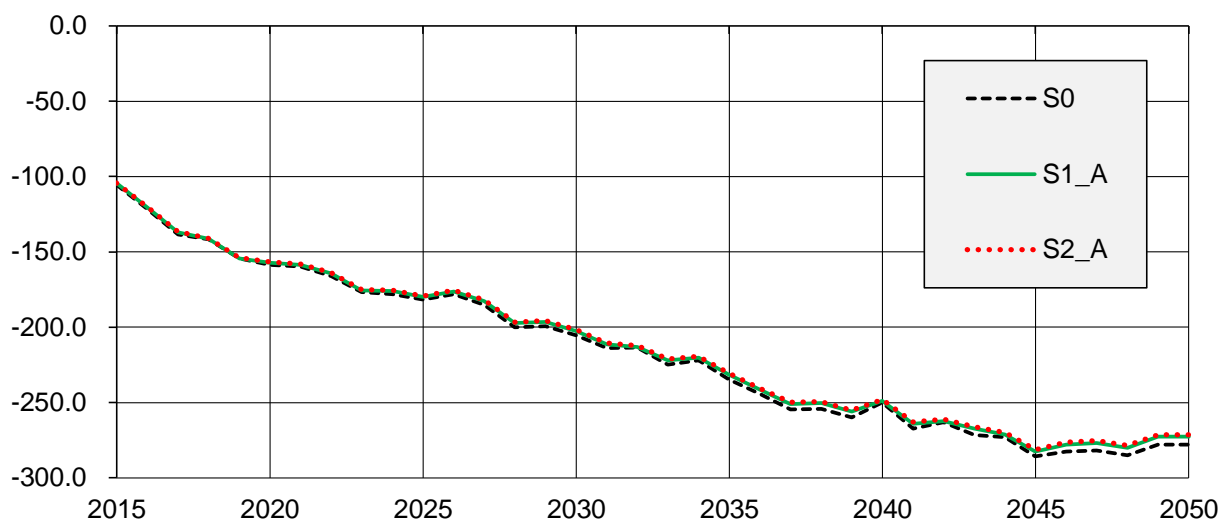


表 7.5 大豆の余剰国と不足国の上位 7 개국 (S2_A-2050 年)

(単位：百万トン)

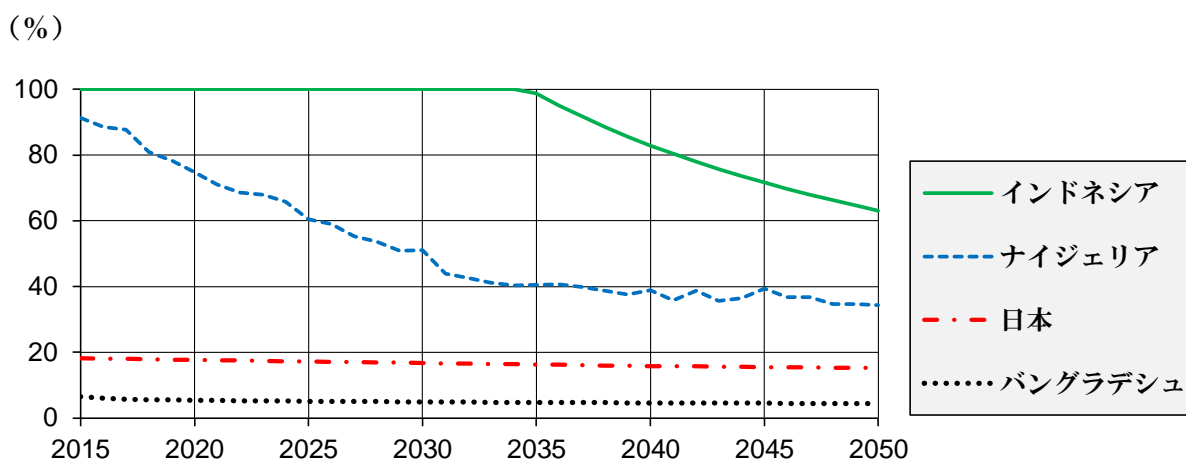
余 剰 国	
アルゼンチン	47.3
ブラジル	40.6
アメリカ合衆国	35.0
パラグアイ	7.9
ウルグアイ	2.8
ボリビア	1.4
カナダ	1.3
全世界合計	136.3

不 足 国	
インド	-83.0
中華人民共和国	-55.9
ナイジェリア	-19.8
パキスタン	-19.5
インドネシア	-15.7
バングラデシュ	-13.4
日本	-10.3
全世界合計	-408.5

(2) 自国生産量による食用自給率

- S1_A（農業国：新規水資源開発 2 %、農業用水配分率 50%）で、食用需要量が小さいこともあって、中華人民共和国、インド、アメリカ合衆国、ロシア、ブラジル、南アフリカの食用自給率は、100%となっている。
- インドネシアとナイジェリアは、需要量の増大により食用自給率が大きく漸減している。
- 日本とバングラデシュは生産量がわずかなので、低い食用自給率のまま横ばいとなっている。

図 7.31 大豆の自国生産量による食用自給率（S1_A）



(3) 再配分後の食用充足率

- S1_A（農業国：新規水資源開発 2 %、農業用水配分率 50%）で、日本を含む主要国の再配分後の食用充足率は、いずれも 100%となっている。
- 地域別でもほぼ 100%となっている。

(4) 渇水の影響

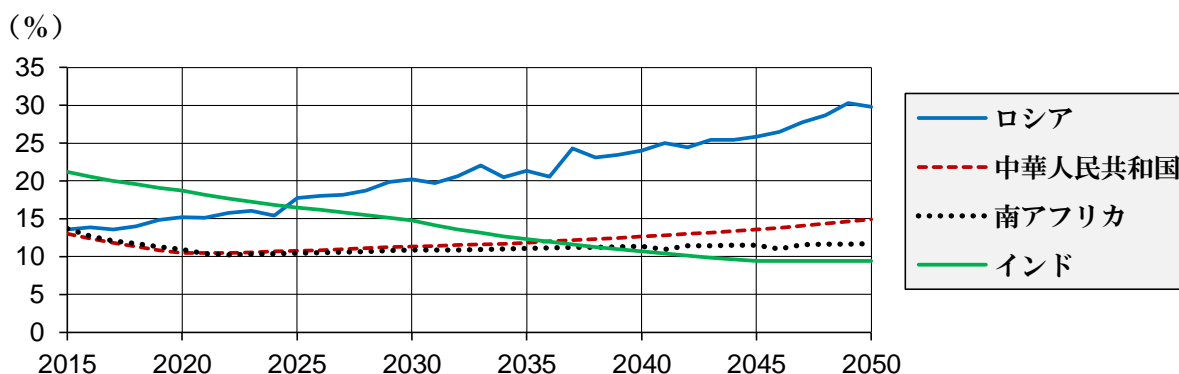
- 「天水ストレス」が 1.0 となっている国が多いことから、渇水による減収は、1（百万トン）程度小さく、不足量の絶対量から見れば影響はほとんどない。

7.4.8 大豆 — 「加工用」

(1) 自国生産量による加工用自給率

- S1_A（農業国：新規水資源開発2%、農業用水配分率50%）で、アメリカ合衆国、カナダ、ブラジル、アルゼンチンの加工用自給率は、100%となっている。
- 日本、インドネシア、バングラデシュ、パキスタン、ナイジェリアの加工用自給率は0%となっている。
- ロシア、中華人民共和国、南アフリカは、生産量の増加に伴って加工用自給率が増加傾向を示している。
- インドは、需要量の増大の方が大きく漸減している。

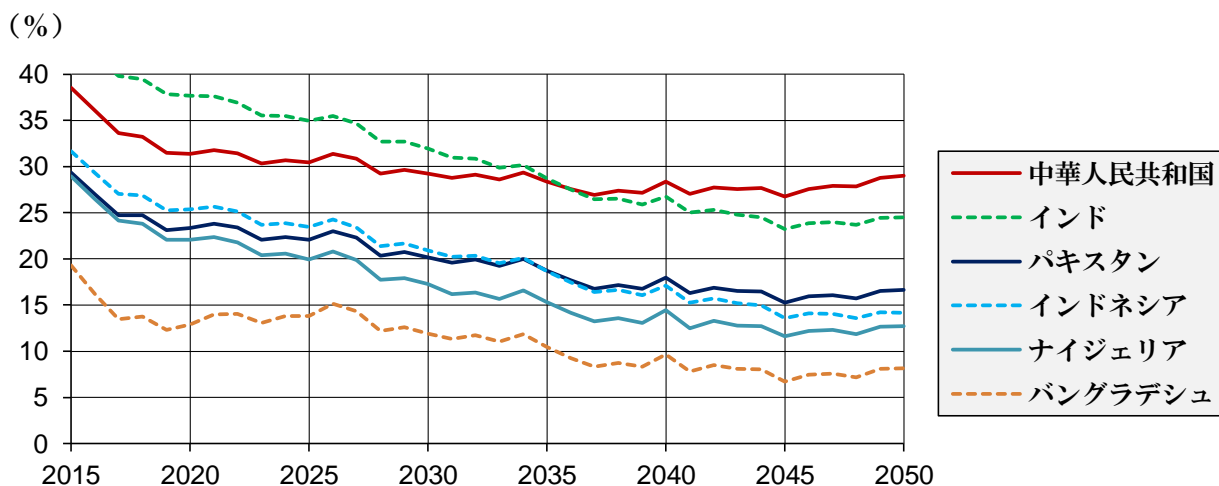
図 7.32 大豆の自国生産量による加工用自給率（S1_A）



(2) 再配分後の加工用充足率

- 日本の再配分後の加工用充足率は、100%になっている。
- 中華人民共和国等は、再配分によって改善はされているものの加工用充足率は低い値となっている。かつ、需要の増大に伴い漸減している。

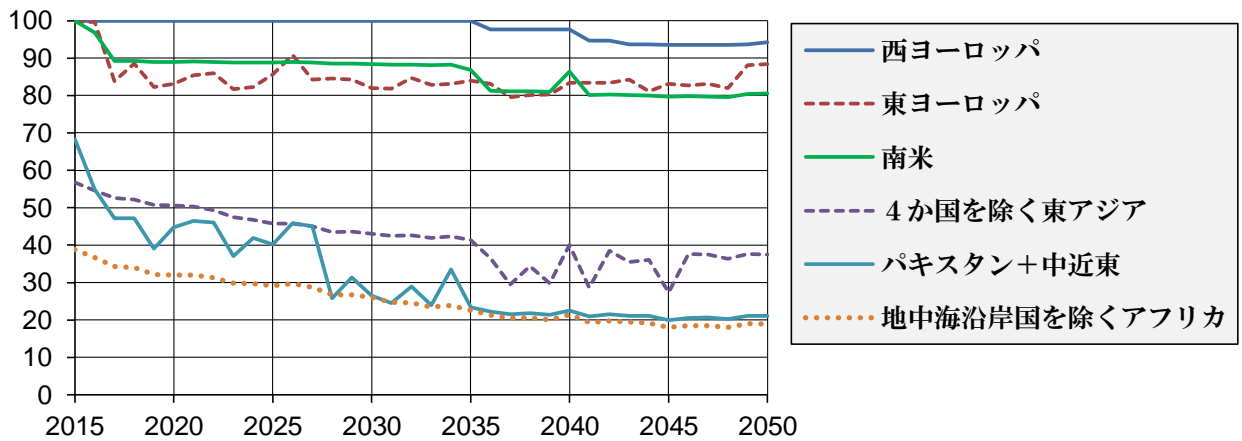
図 7.33 大豆の自国生産量による加工用自給率（S1_A）



- 相対的に経済力の高い東西ヨーロッパと大豆生産余剰国の多い南アメリカは、80%以上の再配分後加工用充足率を確保できている。
- 東アジア、中近東、アフリカは、需要増大に伴い漸減し、低い充足率となっている。

図 7.34 大豆の再配分後の地域別の加工用充足率 (S1_A)

(%)



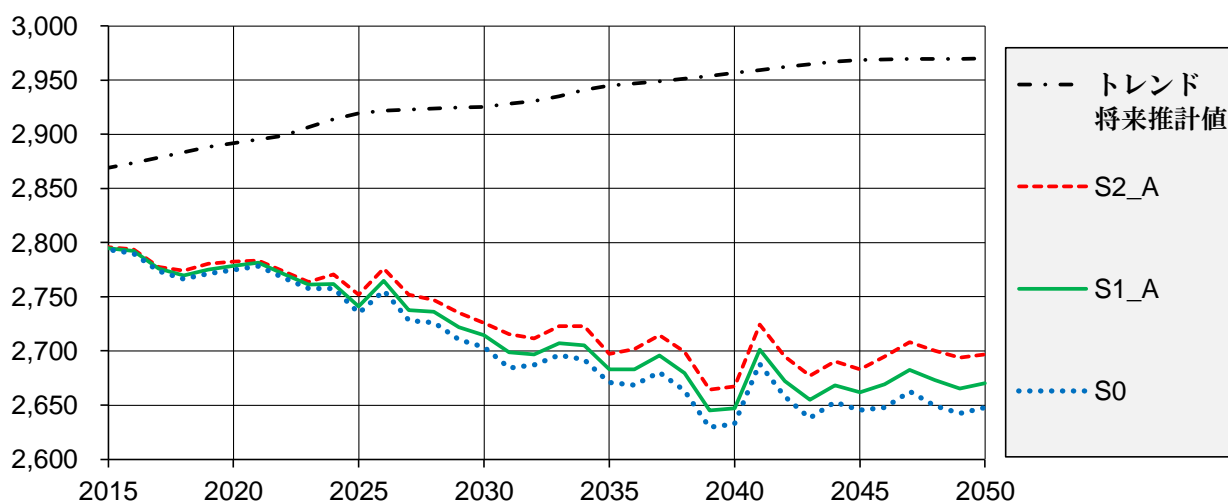
7.5 食品消費カロリー「2100(Kcal/人/日)」に満たない人口

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

- 1) 第6章では、食品消費のトレンドから主要農作物4品目や肉類等の将来消費量（農作物需要量）と将来消費カロリーを推計した。多くの国では、食品消費が増加傾向にあるため、将来消費カロリーは図7.44に示すように、右肩上がりとなっている。
- 2) 一方、第10章では、新規水資源開発シナリオ等に即した主要農作物4品目の供給量の推計計算を行ったが、この供給量の推計結果に対応した食品消費カロリーを計算した（第10章10.5節参照）。
- 3) 新規水資源開発シナリオ別の食品消費カロリーの推計値は、主要農作物4品目の供給量の計算値と同様の分布となっている。
すなわち、主要農作物4品目の生産増加率と比較して人口増加率の方が圧倒的に大きいことから、一人当たりの農作物の量が漸減し、結果として、一人一日当たりの食品消費カロリーも漸減することとなる（図7.33）。
- 4) 「飼料用」と「加工用」の供給量は、生産量の増加に伴って着実に増加している。しかし、人口増加率の方が圧倒的に大きいことから、結果として、一人一日当たりの肉類や植物性油の消費カロリーも漸減することとなる。
- 5) 2050年の全世界平均の「S0」と「S2_A」の差は、約50(Kcal/人/日)である。米（水田）に換算すると約20gというわずかな量の違いに過ぎない。
- 6) しかし、設定した農作物の再配分シナリオでは、経済力の小さな国ほど再配分量が小さくなるために、これらの国ほど一人一日当たりの食品消費カロリーの低減量が多くなっている。

図 7.35 新規水資源開発シナリオ等に即した全世界平均の一人一日当たりの食品消費カロリー

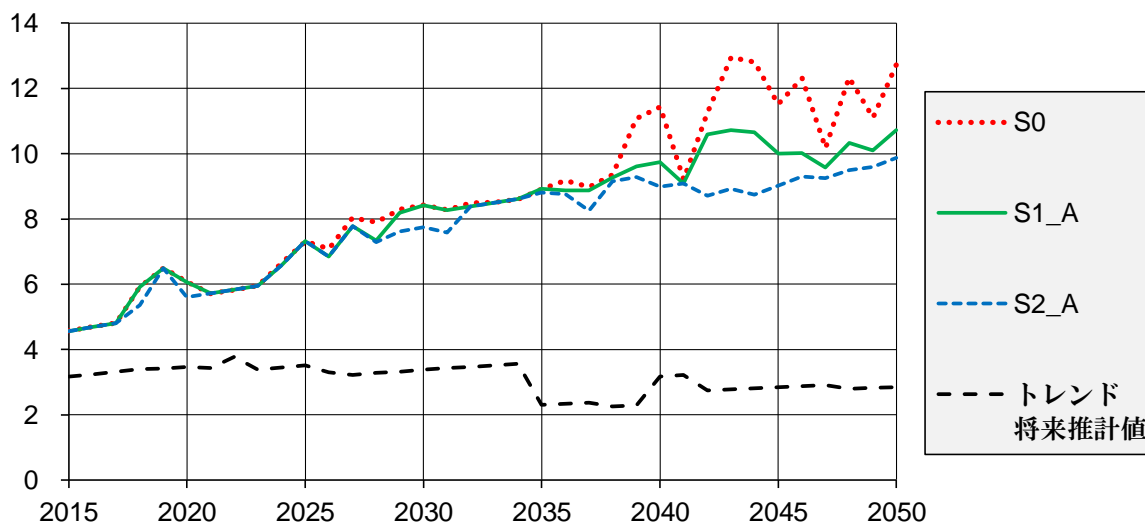
(Kcal/人/日)



7.5.2 「新規水資源開発」の効果

- 1) 第6章のトレンドによる将来消費カロリーの推計において、増加幅が小さい国、あるいは、主要食品が減少傾向にある国があった。結果として、2050年までの間で、出入りはあるが、「2100(Kcal/人/日)」に満たない人口は、2050年時点でアフリカの8か国が「2100(Kcal/人/日)」に達しなかった。約3億人となった。
- 2) 一人一日当たりの食品消費カロリーの漸減の結果として、年を経るごとに「2100(Kcal/人/日)」に満たない人口が右肩上がり増加している。特に、2040年代の増加傾向が著しい。
- 3) 2035年までは新規水資源開発の程度による影響はそれ程顕著ではない。これは、「2100(Kcal/人/日)」に満たない国が、自国生産量が相対的に小さく、かつ、経済力の低い一部の国に限定されていることを意味している。
- 4) 2035年代以降は、新規水資源開発の程度による差異が顕著となっている。これは、農業用水の供給量の大小によって、農作物の生産量が大きな影響を受けていることを意味している。同時に、相対的に縮小した供給量の“獲得競争”から脱落する国が増加することを意味している。
- 5) 2035年代以降の「S0」から「S1_A（農業国：新規水資源開発2%、農業用水配分率50%）」の効果は最大約2.1億人であるが、変動幅が大きい。これは、降水量の影響を強く受けていること、すなわち、「S1_A」では安定的な水資源開発量に達していないことを意味している。
- 6) 「S2_A（農業国：新規水資源開発5%、農業用水配分率50%）」の効果は最大約1.8億人で、変動幅が小さくなっているが、依然として「2100(Kcal/人/日)」に満たない人口は多い。「S2_A」でも新規水資源開発用としては不足している国が多いことを意味している。

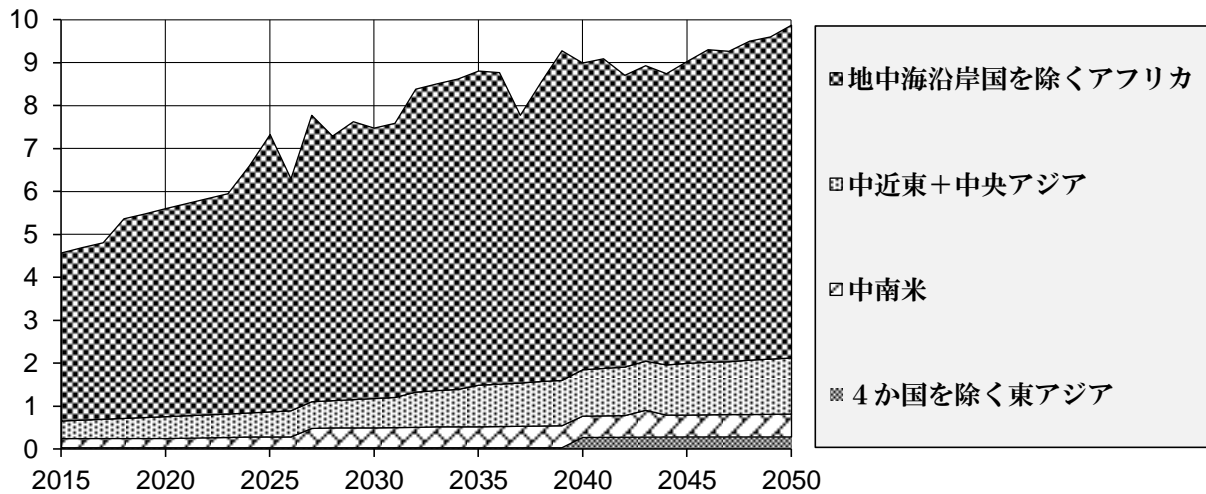
図 7.36 食品消費カロリー「2100(Kcal/人/日)」に満たない人口（世界合計）
（億人）



7.5.3 地域別

- 1) 自国生産力が小さく、かつ、相対的に経済力の低い国が多いアフリカの占める人口が圧倒的に多い。
- 2) 中近東及び中央アジアは、乾燥地帯の国である。

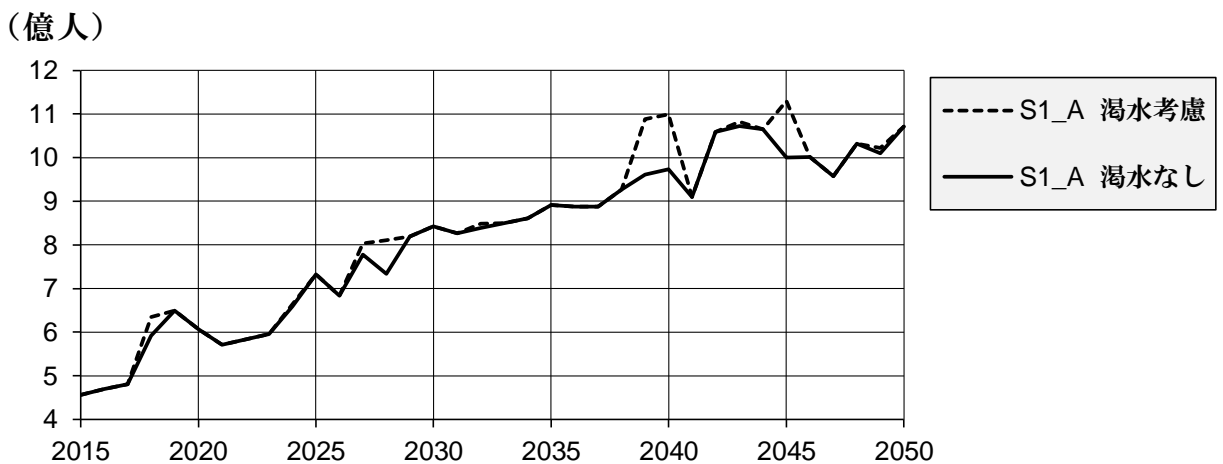
図 7.37 地域別の食品消費カロリー「2100(Kcal/人/日)」に満たない人口 (S2_A) (億人)



7.5.4 「渇水」の影響

- 1) 「渇水」によって最大約 1.3 億人の増加が予想される。
- 2) ボーダーラインに近い国の人口が多いこと、そして、それらの国は非灌漑農地が多く、気候変動による降雨量の多寡の影響が大きいことを意味している。

図 7.38 食品消費カロリー「2100(Kcal/人/日)」に満たない人口の「渇水」の影響 (S1_A)



7.6 影響分析シナリオの計算オプション

第 10 章に記載したが、再度以下に説明する。

7.6.1 生活用水の節水

- 1) 先進国と経済発展国を対象に、日本を参考として、一人当たり GDP（1990 年 US\$換算）が 10,000 ドルになったら 10%、20,000 ドルになったら 20% の「節水率」による効果を計算できるようにした（「5.1.4」参照）。
- 2) この節水相当量は、生活用水の需要量の減少に反映される。
- 3) 余剰量（=配分供給量－需要量）は、工業用水、農業用水の順番で不足分の補てんに充当される。
- 4) 主要な経済発展国が一人当たり GDP（1990 年 US\$換算）の閾値を満足するようになる年は以下のとおりである。

表 7.6 CIESIN 一人当たり GDP（1990 年 US\$換算）の閾値到達年

	10,000 ドル	20,000 ドル
中華人民共和国	2036 年	到達せず
インドネシア	2045 年	到達せず
インド	到達せず	到達せず
ロシア	2019 年	2030 年
ブラジル	2017 年	2028 年
南アフリカ	2017 年	2029 年

7.6.2 工業用水の回収水再利用

- 1) 日本以外の先進国と経済発展国を対象に、2015 年から 5%、2020 年から 10%、2025 年以降は表 10.3 に示す回収水利用率を導入した場合の効果を計算できるようにした。（「5.2.4」参照）。
- 2) 工業用水の回収水相当分は、工業用水需要量の減少に反映される。
- 3) 余剰量（=配分供給量－需要量）は、都市用水、農業用水の順番で不足分の補てんに充当される。

7.6.3 地下水の削減

取水量が大きいアメリカ合衆国、中華人民共和国、インドの 3 か国について 2011 年から 5 年毎に 5% ずつ削減（2050 年で 40% 減）する設定とした。

7.7 主要国別・地域別の分析結果のまとめ

7.7.1 日本

(1) 水ストレス

- ・日本は、「S0」の段階で「生活用水ストレス」と「工業用水ストレス」が「1.0」となっている。さらに、将来人口も減少傾向になっていることから、「水ストレス」の面では必要量が将来的に確保できると言える。
- ・加えて、「渇水」の影響も皆無と言って良く、「新規水資源開発」及び「水配分シナリオ」の効果进行分析するまでもない恵まれた状況にある。

(2) 主要農作物4品目の過不足量等 (S1_A-01)

- ・日本の自国生産量による自給率は、食用の米(水田)が100%となっているが、それ以外の品目は低い値となっている。
- ・日本は、高い経済力を背景として、需要のほとんどを再配分に依存している。

表 7.7 日本における農作物の「自国生産自給率」と「再配分後充足率」

	2015年～2050年の平均値	
	自国生産自給率 (%)	再配分後充足率 (%)
米 (水田) 食用	100.0	100.0
小麦 食用	9.4	100.0
トウモロコシ 食用	0.0	100.0
大豆 食用	16.5	100.0
小麦 飼料用	0.0	100.0
トウモロコシ 飼料用	0.0	100.0
トウモロコシ 加工用	0.0	100.0
大豆 加工用	0.0	100.0

- ・日本は、再配分元の国の生産の状況に大きな影響を受けることから、生産余剰国の安定的な生産環境の整備を支援することは重要な意味を持っている。
- ・同時に、東アジアやアフリカ等の生産不足国の生産量を高めるための支援も“食の安全保障”の観点から重要である。

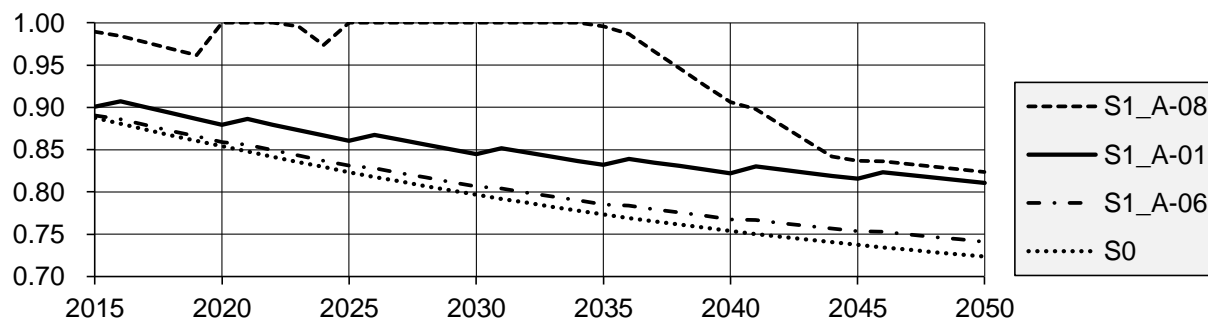
7.7.2 アメリカ合衆国

(1) 生活用水ストレス

① 新規水資源開発（「S0」と「S1_A-01」）

- ・生活用水ストレスは、2%の新規水資源開発によって2050年で0.1ポイント程の向上はみられるものの、全体としては漸減する（S1_A-01）。
- ・将来人口の増加（2010年～2050年で約8千万人増）には対応できない。

図 7.39 アメリカ合衆国の「生活用水ストレス」～「計算オプション」の効果



② 地下水削減の影響（S1_A-06）

- ・生活用水ストレスは、2050年で0.73ポイントまで低下する。

③ 生活節水+工業用水回収水(17%)再利用の効果

- ・アメリカ合衆国の場合のこの2つオプションの実施効果は、生活用水ストレス、工業用水ストレスともに「1.0」となった。

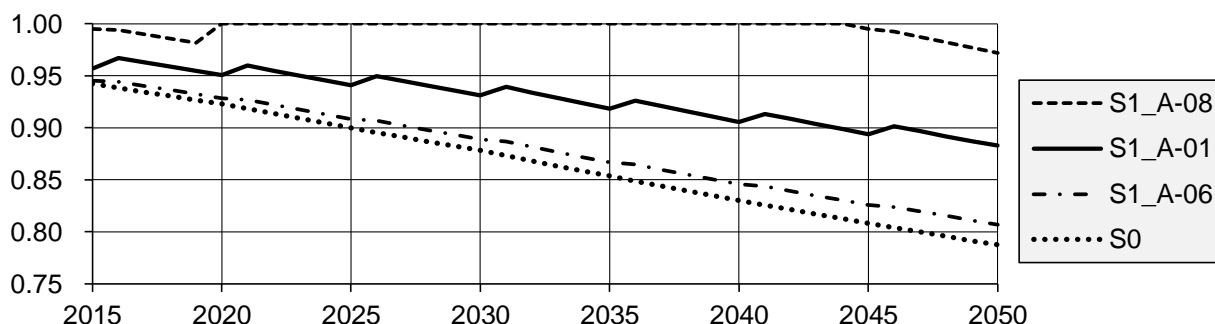
④ 生活節水+工業用水回収水(17%)再利用+地下水の削減（S1_A-08）

- ・人口増加に伴い需要量が増大する一方で、地下水削減によって供給量が減少するため、2030年代後半から生活用水ストレスが急減に低下している。
- ・それでも生活節水+工業用水回収水(17%)再利用の効果により、S1_A-01よりは大きな値となっている。

(2) 工業用水ストレス

全体的な傾向は、生活用水ストレスと同じであるが、2050年では工業用水も需要を満足する供給量を確保できていない。

図 7.40 アメリカ合衆国の「工業用水ストレス」～「計算オプション」等の効果



(3) 農業用水供給量

① 新規水資源開発 (S1_A-01)

- ・ 2050年/2000年比率で1.12倍となっている。

② 生活節水+工業用水回収水(17%)再利用の効果 (S1_A-07)

- ・ 2025年の大きな増加量は、工業用水の回収率が10%から17%に上がった効果である。
- ・ 需要増の右肩下がりとは5年毎の新規水資源開発でジグザグ形状となっているが、2050年/2000年比率で1.15倍と大きな効果がある。

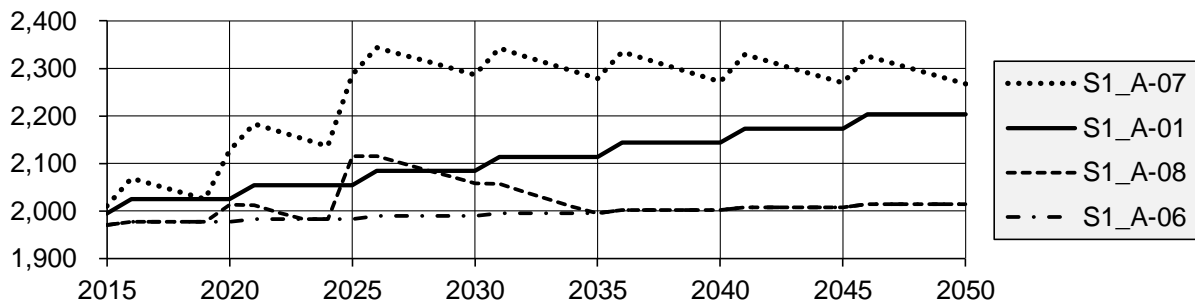
③ 地下水削減の影響 (S1_A-06)

- ・ 2050年/2000年比率で1.02倍となっている。
- ・ 2050年で「S1_A-01」と比較して8.4%の減となっている。
- ・ 都市用水と工業用水の供給を優先したが、地下水削減の影響は大きい。

④ 生活節水+工業用水回収水(17%)再利用+地下水の削減 (S1_A-08)

- ・ 2038年以降は、生活節水+工業用水回収水(17%)再利用の効果が地下水削減によって打ち消されている。

図 7.41 アメリカ合衆国の「農業用水供給量」～「計算オプション」等の効果 (億m³)



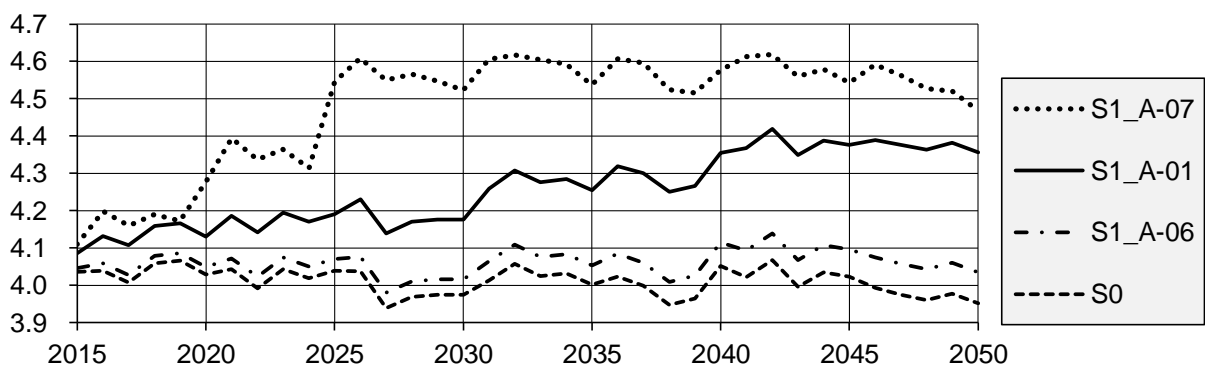
(4) 主要農作物 4 品目の自国生産量の余剰量

① 米 (水田)

- ・ 地下水削減による余剰(生産)量の減少は、12.1%である。

図 7.42 米 (水田) の自国生産量の余剰量 (アメリカ合衆国)

(百万トン)

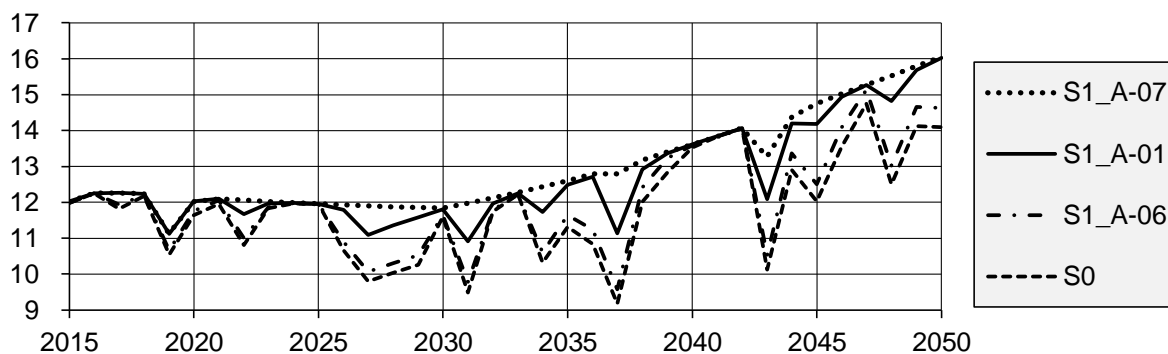


② 小麦

- ・灌漑用水の供給量が相対的に少ないので、降雨量によっては灌漑用水ストレスが「0.9」未満となり生産量が落ち込んでいる。
- ・「生活節水+工業用水回収水(17%)再利用 (S1_A-07)」では、灌漑用水ストレスがほぼ「0.9」以上になるので直線的な分布となる。その効果は大きい。
- ・地下水削減による余剰(生産)量の減少は、12.7%である。

図 7.43 小麦の自国生産量の余剰量 (アメリカ合衆国)

(百万トン)

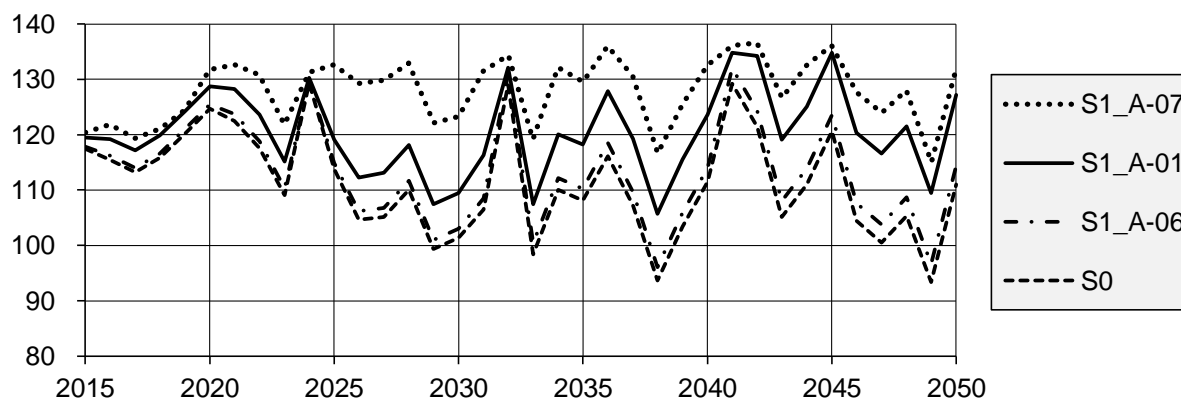


③ トウモロコシ

- ・上下変動は、灌漑用水の相対量が小さいために、降雨量の多寡の影響を強く受けていることを意味している。すなわち、気候変動による干ばつで不作の年があるということである。
- ・灌漑用水量を増やせば変動は安定化するが、新規水資源開発率2%では、その余力は少ない。
- ・「生活節水+工業用水回収水(17%)再利用 (S1_A-07)」のケースでは、変動幅が小さくなっており、その効果は大きい。
- ・地下水削減による余剰(生産)量の減少は、12.1%である。

図 7.44 トウモロコシの自国生産量の余剰量 (アメリカ合衆国)

(百万トン)

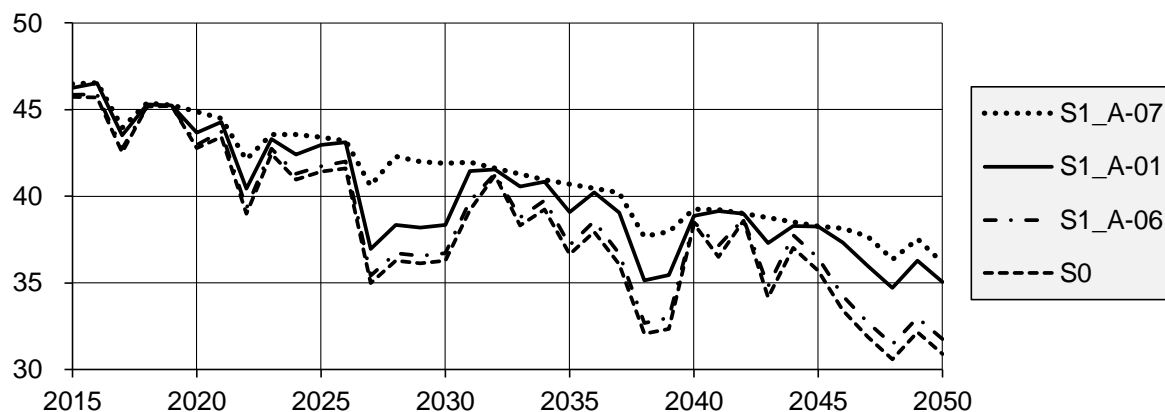


④ 大豆

- ・変動の意味は、小麦、トウモロコシと同様であり、「生活節水+工業用水回収水(17%)再利用 (S1_A-07)」の効果は大きい。
- ・生産量がほぼ横ばいであることに対して需要量が増加していることから、余剰量が漸減している。
- ・地下水削減による余剰(生産)量の減少は、11.8%である。

図 7.45 大豆の自国生産量の余剰量 (アメリカ合衆国)

(百万トン)



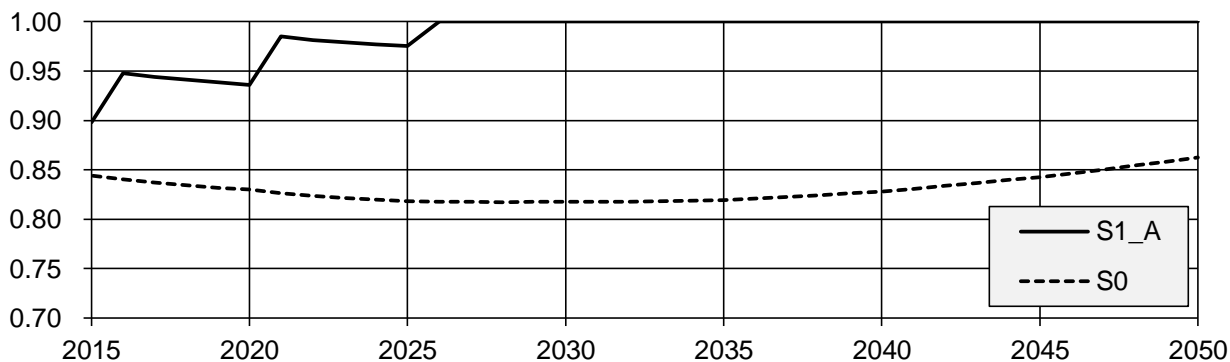
7.7.3 ロシア

(1) 生活用水ストレス

① 新規水資源開発の効果 (「S0」と「S1_A-01」)

- ・相対的に実績の用水量が大きいこと。さらに、将来的に人口が漸減 (2010年~2050年で約1.7千万人減) することから、S1_A-01でも生活用水ストレスは、「1.0」を確保することができる。

図 7.46 ロシアの「生活用水ストレス」～「新規水資源開発」の効果



② 生活節水+工業用水回収水(17%)再利用の効果

- ・生活用水ストレスは、S1_Aで工業用水ストレスともに「1.0」となった。

(2) 工業用水ストレス

- ・「工業用水ストレス」は、2000年の実績配分量ですでに「1.0」となっている。
- ・2000年の実績の工業用水量は、相対的に大きいことから、水利用の効率化と回収水利用によって、余剰分を農業用水等の他の用途に振り向けられる可能性が高い。

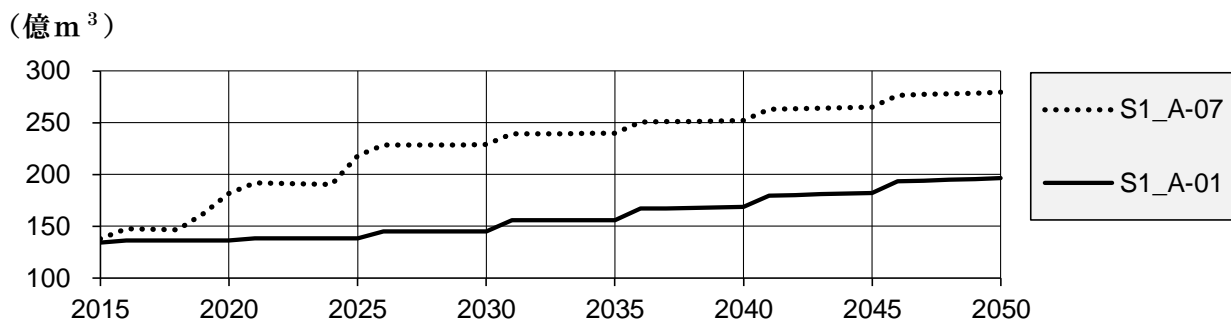
(3) 農業用水供給量

- ・生活用水と工業用水の余剰分が農業用水に充当されている。

S1_A-01 2050年/2000年 = 1.49倍

S1_A-07 2050年/2000年 = 2.12倍

図 7.47 ロシアの「農業用水供給量」～「計算オプション」等の効果

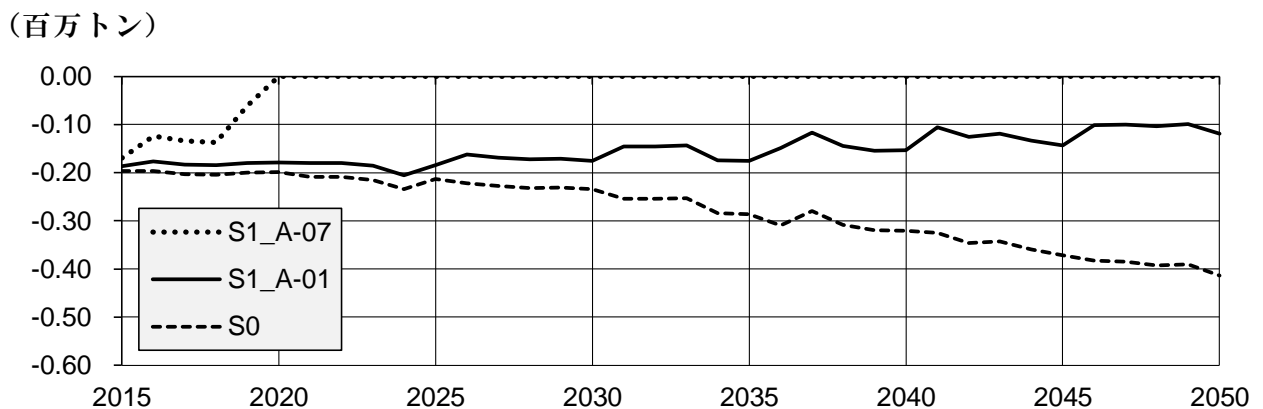


(4) 主要農作物 4 品目の自国生産量の過不足量

① 米（水田）

- ・新規水資源開発の効果により S1_A-01 の生産量は 2050 年/2000 年で、2.53 倍に増加しており、不足量も年々減少している。
- ・灌漑用水ストレスが 0.7 前後のため、降雨量の多寡の影響による変動が出ている。
- ・生活節水+工業用水回収水(17%)再利用により不足量をゼロにできる可能性がある。

図 7.48 米（水田）の自国生産量の過不足量（ロシア）

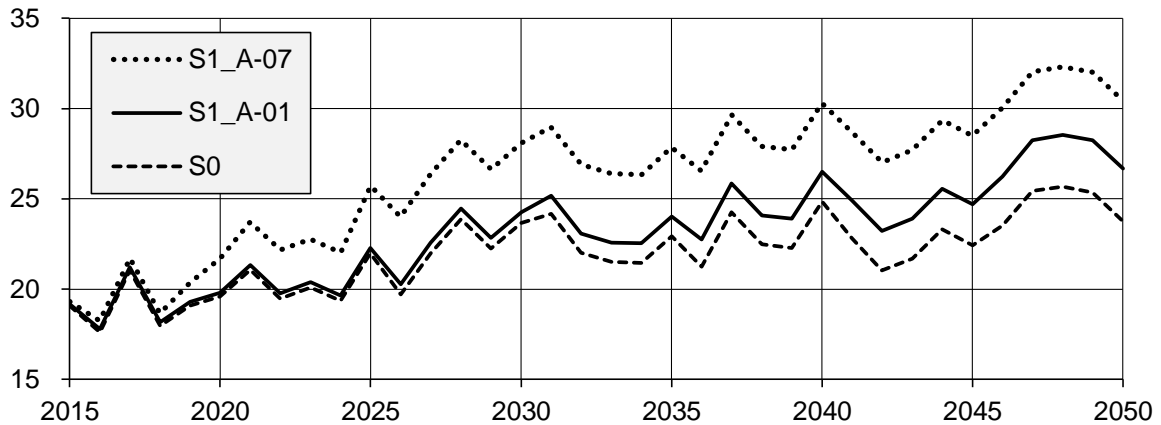


② 小麦

- ・新規水資源開発の効果により S1_A-01 の生産量は 2050 年/2000 年で、1.66 倍に増加しており、余剰量も年々増加している。
- ・灌漑用水ストレスが 0.5 前後と小さいため、降雨量の多寡の影響による大きな変動が出ている。
- ・生活節水+工業用水回収水(17%)再利用による効果は大きい可能性がある。

図 7.49 小麦の自国生産量の過不足量（ロシア）

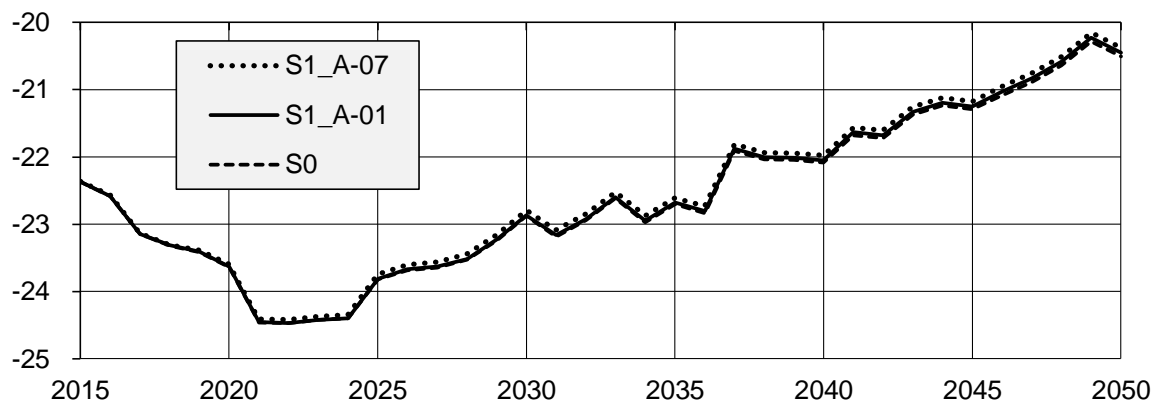
(百万トン)



③ トウモロコシ

- ・新規水資源開発の効果により S1_A-01 の生産量は 2050 年/2000 年で、4.1 倍に増加しており、余剰量も年々増加しているが、不足量が多い。
- ・灌漑用水供給率が小さい (5/560) ために、新規水資源開発や計算オプションの効果は非常に小さくなっている。
- ・灌漑用水の供給量を増やせば生産量を増加させることが可能である。

(百万トン) 図 7.50 トウモロコシの自国生産量の過不足量（ロシア）

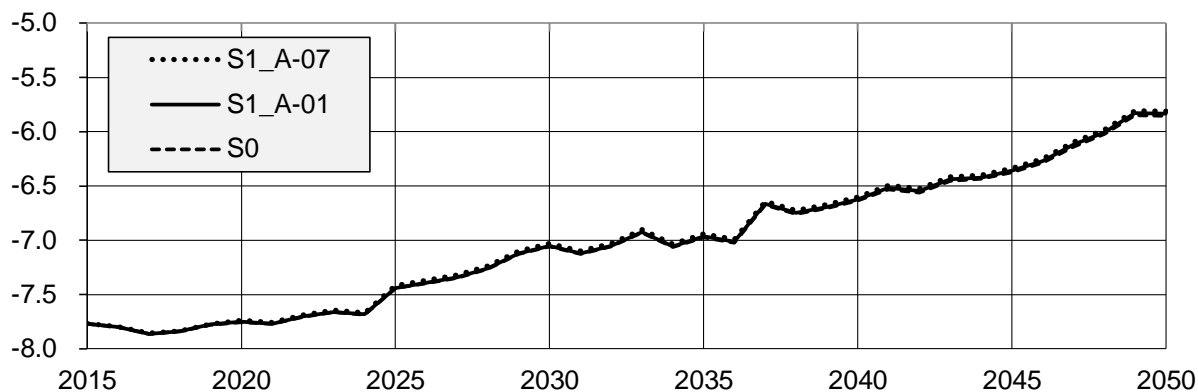


④ 大豆

- ・新規水資源開発の効果により S1_A-01 の生産量は 2050 年/2000 年で、8.39 倍に増加しており、余剰量も年々増加している。
- ・灌漑用水供給率が小さい (5/560) ために、新規水資源開発や計算オプションの効果は非常に小さくなっている。
- ・灌漑用水の供給量を増やせば生産量を増加させることが可能である。

図 7.51 大豆の自国生産量の過不足量 (ロシア)

(百万トン)



(5) 主要農作物 4 品目の自給率・充足率 (S1_A-01)

- ・再配分後であってもトウモロコシが不足している。
- ・灌漑用水の供給量を増やせば生産量を増加させることが可能である。

表 7.8 ロシアにおける農作物の「自国生産自給率」と「再配分後充足率」

	2015 年～2050 年の平均値	
	自国生産自給率 (%)	再配分後充足率 (%)
米 (水田) 食用	86.5	100.0
小麦 食用	100.0	100.0
トウモロコシ 食用	100.0	100.0
大豆 食用	100.0	100.0
小麦 飼料用	100.0	100.0
トウモロコシ 飼料用	17.2	86.8
トウモロコシ 加工用	0.0	61.7
大豆 加工用	20.8	100.0

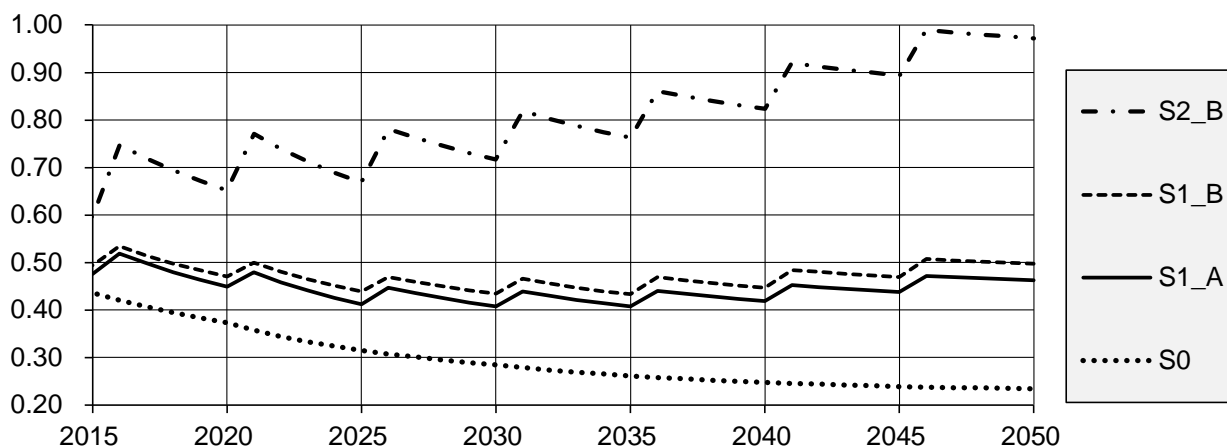
7.7.4 インド

(1) 生活用水ストレス

① 新規水資源開発の効果

- ・第5章で見たように、人口と一人当たり GDP の増加で生活用水の需要は急激な増加を示している（図 5.10）。
- ・生活用水の供給量は、新規水資源開発 2%では全く足りず、5%の効果は大きい、それでも不十分であるものと予想される。

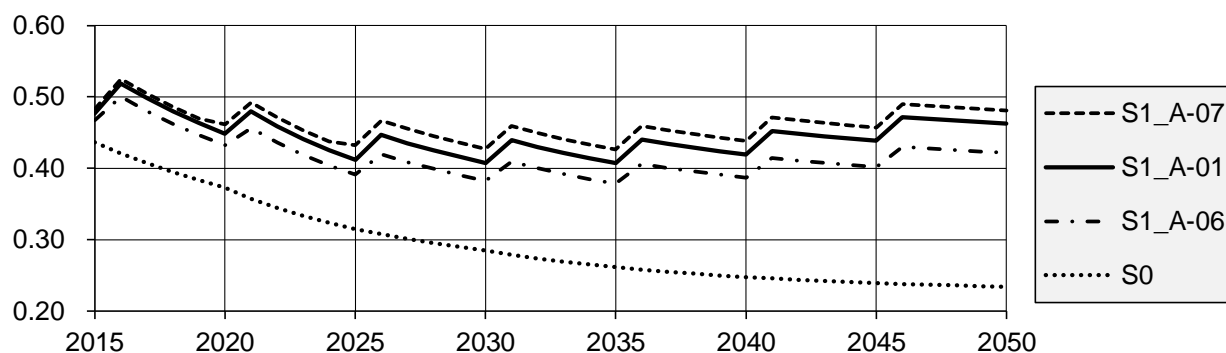
図 7.52 インドの「生活用水ストレス」～「新規水資源開発」の効果



② 工業用水回収水(17%)再利用 (S1_A-07) と地下水の削減 (S1_A-06)

- ・インドは、生活節水の閾値に達していない。
- ・工業用水比率が低く、一方、地下水依存比率が高いことから、地下水の削減の影響の方が工業用水回収水(17%)再利用の効果よりも大きい。

図 7.53 インドの「生活用水ストレス」～「計算オプション」の効果



(2) 工業用水ストレス

- ・工業用水の比率が低いことから、地下水の削減 (S1_A-06) 後でも工業用水ストレスは、「1.0」を確保できている。

(3) 農業用水供給量

- ・工業用水の回収水(17%)は、都市用水の不足量の補てんに充当され、農業用水は増加していない。一方、地下水削減の影響が大きい。

S1_A-01 2050年/2000年 = 1.02倍

S1_A-06 2050年/2000年 = 0.88倍

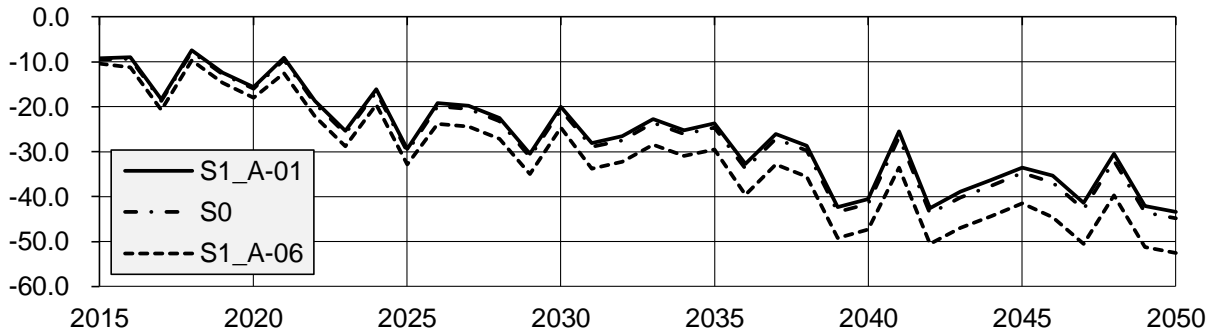
(4) 主要農作物4品目の自国生産量の過不足量

① 米(水田)

- ・新規水資源開発の効果により S1_A-01 の生産量は 2050年/2000年で、1.18倍に増加しているが、人口増加率がより大きいので不足量は増加している。
- ・灌漑用水供給量の絶対的な不足から灌漑用水ストレスが 0.23程度と低いため降雨量の多寡の影響による変動が出ている。
- ・地下水の削減による生産量の減少は、2050年で約15%と大きい。

図 7.54 米(水田)の自国生産量の過不足量(インド)

(百万トン)

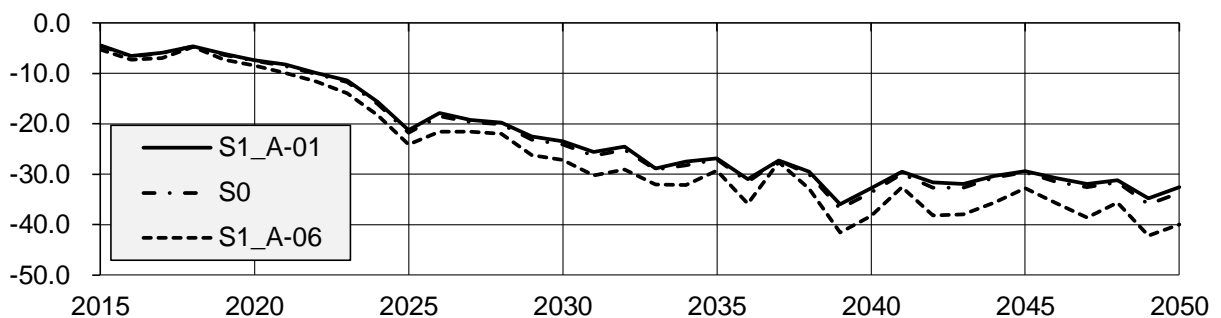


② 小麦

- ・新規水資源開発の効果により S1_A-01 の生産量は 2050年/2000年で、1.09倍に増加している。
- ・地下水の削減による生産量の減少は、2050年で約16%と大きい。

図 7.55 小麦の自国生産量の過不足量(インド)

(百万トン)



③ トウモロコシ

- ・新規水資源開発の効果により S1_A-01 の生産量は 2050 年/2000 年で、1.49 倍に増加しているが、不足量は大きく減少している。
- ・天水ストレスが 0.9 以上であることから新規水資源開発の効果や地下水削減の影響は反映していない。

④ 大豆

- ・新規水資源開発の効果により S1_A-01 の生産量は 2050 年/2000 年で、1.82 倍に増加しているが、不足量は大きく減少している。
- ・天水ストレスが 0.9 以上であることから新規水資源開発の効果や地下水削減の影響は反映していない。

(5) 主要農作物 4 品目の自給率・充足率 (S1_A-01)

- ・再配分後の食用主要農作物の量は、若干不足しているものもあるが、農業用水の供給量を増加すれば需要量を確保できる可能性がある。
- ・しかし、飼料用、加工用の需要量を確保することは困難であると予想される。

表 7.9 インドにおける農作物の「自国生産自給率」と「再配分後充足率」

	2015 年～2050 年の平均値	
	自国生産 自給率 (%)	再配分後 充足率 (%)
米 (水田) 食用	83.8	87.0
小麦 食用	78.3	90.1
トウモロコシ 食用	87.9	100.0
大豆 食用	100.0	100.0
小麦 飼料用	0.0	33.3
トウモロコシ 飼料用	25.5	73.5
トウモロコシ 加工用	0.6	9.4
大豆 加工用	13.9	30.9

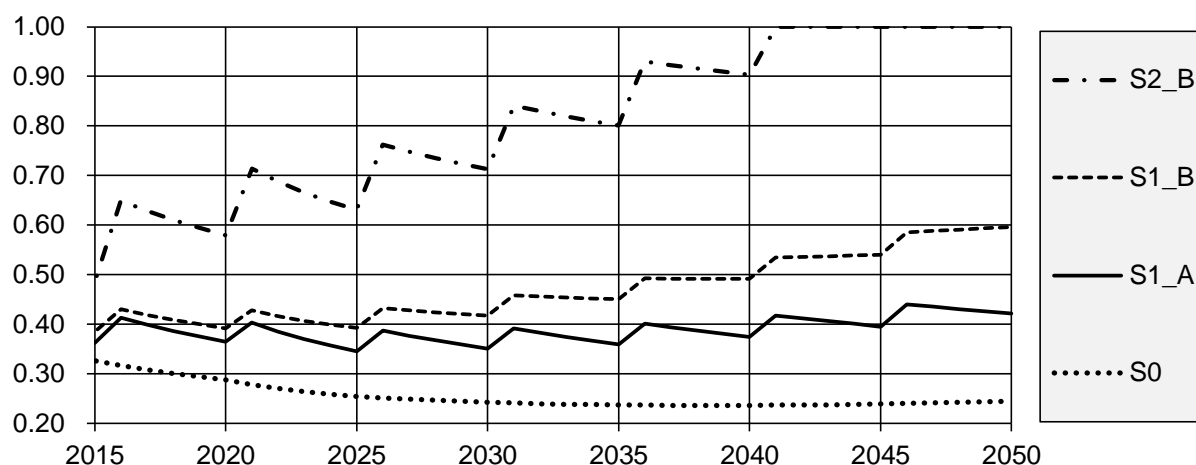
7.7.5 中華人民共和国

(1) 生活用水ストレス

① 新規水資源開発の効果

- ・第5章で見たように、人口と一人当たり GDP の増加で生活用水の需要は急激な増加を示している（図 5.10）。
- ・生活用水の供給量を 30% から 70% に増やした水配分の効果はあるものの新規水資源開発 2% では全く足りない。
- ・新規水資源開発 5% の効果は大きいですが、それでも不十分であるものと予想される。

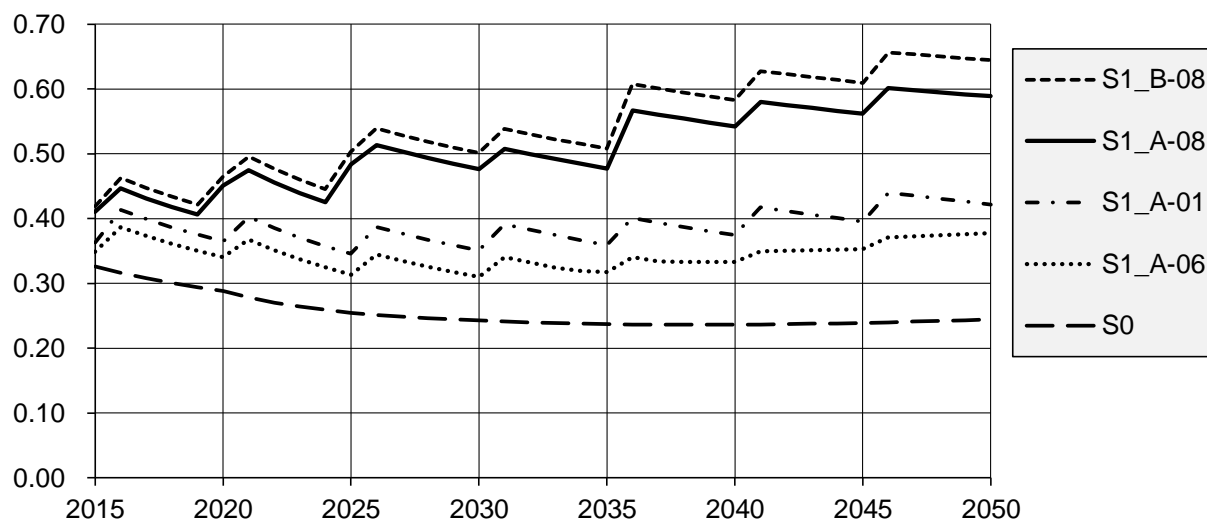
図 7.56 中華人民共和国の「生活用水ストレス」～「新規水資源開発」の効果



② 地下水の削減の影響

- ・地下水の削減による生活用水ストレスの減少は、10.4%である（S1_A-06）。

図 7.57 中華人民共和国の「生活用水ストレス」～「計算オプション」の効果



③ 生活節水+工業用水回収水(17%)再利用+地下水の削減 (図 7.57)

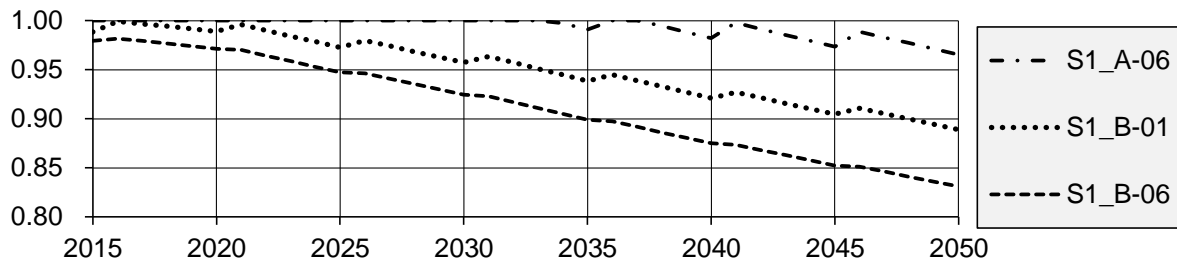
- ・ S1_A-08 のケースでは、生活用水ストレスの値が 0.17 ポイント改善される。地下水の削減の影響よりも「生活節水+工業用水回収水(17%)再利用」の効果の方がはるかに大きいことがわかる。

(2) 工業用水ストレス

① 新規水資源開発の効果

- ・ 第 5 章で見たように、工業用水の用水量実績は微増となっている (図 5.17)。
- ・ この工業用水の実績は、生活用水の需要増に対応するために、政策的に抑制・コントロールしていると推察される。
- ・ この実績を反映して、工業用水は S1_A-01(配分率 50%)では、「1.0」を確保できている。
- ・ しかし、工業用水の配分率の低い S1_B-01 (配分率 20%) では、「0.9」程度まで漸減する。

図 7.58 中華人民共和国の「工業用水ストレス」～「新規水資源開発」等の効果



② 地下水の削減の影響 (図 7.58)

- ・ 地下水の削減による影響は、S1_A では小さい。一方、S1_B になると大きくなる。

③ 生活節水+工業用水回収水(17%)再利用+地下水の削減

- ・ S1_A, S1_B ともに「1.0」となっている。

(3) 農業用水供給量

- ・ 工業用水の回収水(17%)は、都市用水の不足量の補てんに充当され、農業用水は増加していない (「S1_A-01」=「S1_A-07」=「S1_A-08」)。
- ・ S1_A-01 の農業用水配分量は、2000 年表流水取水量の 1% (=5%×20%)、一方、地下水の削減 5%分は農業用水比率で削減することになるので地下水削減の影響量の方が大きく、結果して、2050 年の農業用水供給量は、2000 年よりも減少してしまう。このように、地下水削減の影響は大きい。

$$S1_A-06 \quad 2050 \text{ 年}/2000 \text{ 年} = 0.965 \text{ 倍} \quad -134.2 \text{ (億m}^3\text{)}$$

- ・ 地下水削減量の影響を打ち消すには、農業用水配分比率を 39%にする必要があるが、他方、都市用水供給量が減少してしまうジレンマがある。

(4) 主要農作物 4 品目の自国生産量の過不足量

① 米（水田）

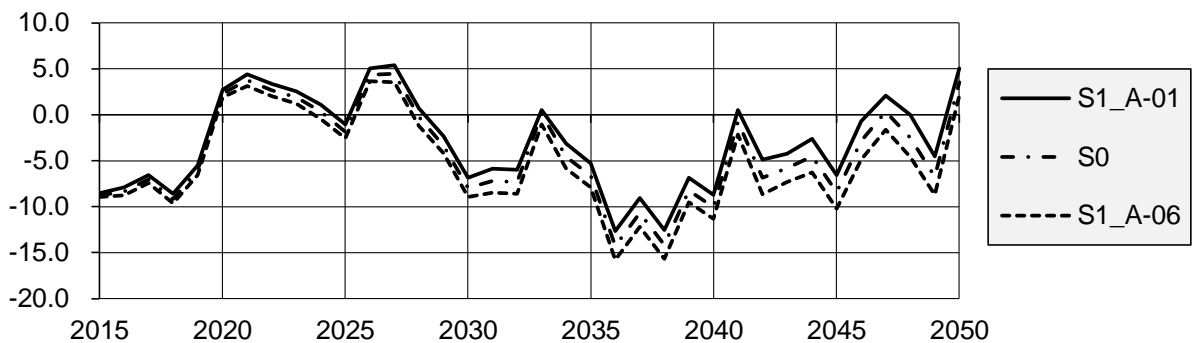
- ・米（水田）の一人当たりの消費量の減少傾向と人口増加が減少に転じることから、需要量を満足する生産量を確保できる可能性が高い。

② 小麦

- ・新規水資源開発の効果により S1_A-01 の生産量は 2050 年/2000 年で、1.30 倍に増加している。
- ・灌漑用水供給量の絶対的な不足から灌漑用水ストレスが低いため降雨量の多寡の影響による変動が出ている。
- ・2035 年頃までは人口が増加し、その後減少に転じるとの予想となっていることを受けて、2035 年以降は不足量が減少傾向にある。

図 7.59 小麦の自国生産量の過不足量（中華人民共和国）

(百万トン)

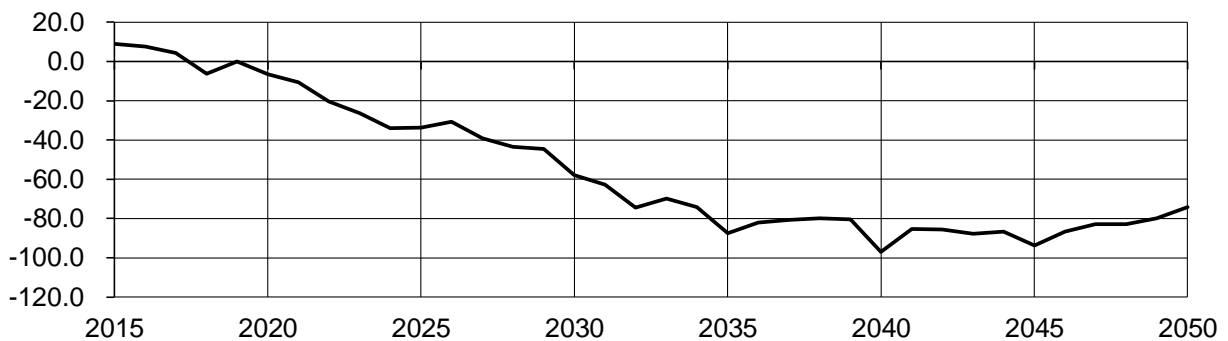


③ トウモロコシ

- ・新規水資源開発の効果により S1_A-01 の生産量は 2050 年/2000 年で、1.87 倍に増加しているが、2035 年頃までは大きく減少している
- ・天水ストレスがほぼ 0.9 以上であることから新規水資源開発の効果や地下水削減の影響は反映していない。

図 7.60 トウモロコシの自国生産量の過不足量（中華人民共和国）

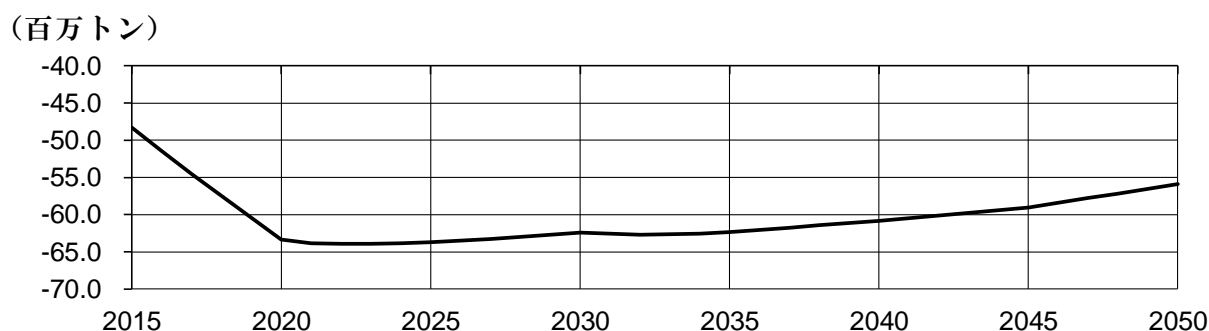
(百万トン)



④ 大豆

- ・新規水資源開発の効果により S1_A-01 の生産量は 2050 年/2000 年で、1.05 倍と増加率が比較的小さい。
- ・中華人民共和国の 2009 年の大豆の再配分量は、45.0（百万トン）、全世界の貿易取引量の 56.4% に上っている。より需要の高いトウモロコシの生産を重視し、大豆は再配分で賄おうしているように思われる。
- ・天水ストレスが 0.9 以上であることから新規水資源開発の効果や地下水削減の影響は反映していない。

図 7.61 大豆の自国生産量の過不足量（中華人民共和国）



(5) 主要農作物 4 品目の自給率・充足率 (S1_A-01)

- ・食用及び飼料用の主要農作物の量は、自国生産量再配分で確保できる可能性が高い。
- ・加工用大豆についても、米と小麦の作付面積の余剰分を振り向けることと再配分で需要量を確保できる可能性がある。

表 7.10 中華人民共和国における農作物の「自国生産自給率」と「再配分後充足率」

	2015 年～2050 年の平均値	
	自国生産自給率 (%)	再配分後充足率 (%)
米 (水田) 食用	100.0	100.0
小麦 食用	100.0	100.0
トウモロコシ 食用	100.0	100.0
大豆 食用	100.0	100.0
小麦 飼料用	90.7	99.9
トウモロコシ 飼料用	84.8	89.2
トウモロコシ 加工用	17.8	20.5
大豆 加工用	12.1	29.6

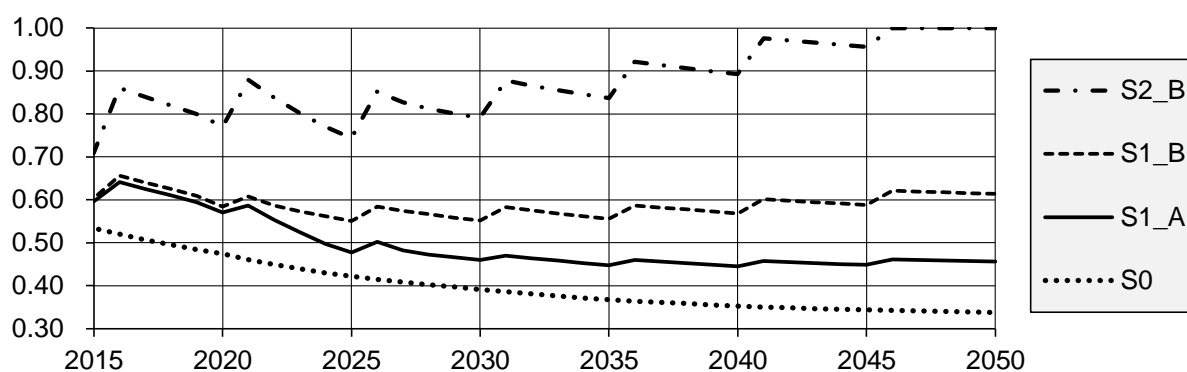
7.7.6 インドネシア

(1) 生活用水ストレス

① 新規水資源開発の効果

- ・第5章で見たように、人口と一人当たり GDP の増加で生活用水の需要は急激な増加を示している（図 5.10）。
- ・生活用水の供給量を 30% から 70% に増やした水配分の効果はあるものの新規水資源開発 2% では全く足りない。
- ・新規水資源開発 5% の効果は大きいですが、それでも不十分であるものと予想される。

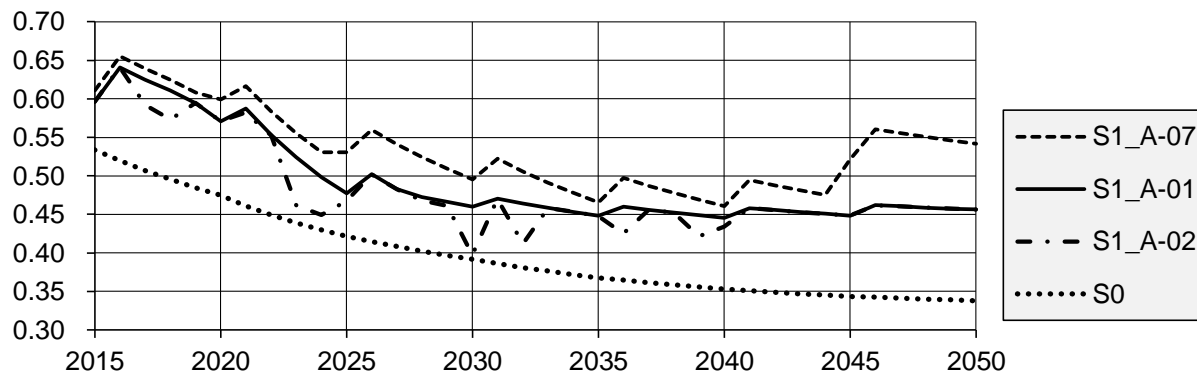
図 7.62 インドネシアの「生活用水ストレス」～「新規水資源開発」の効果



② 生活節水+工業用水回収水(17%)再利用の効果 (図 7.63 S1_A-07)

- ・インドネシアの 2000 年の工業用水比率は、6.5% と低いことから、工業用水回収水(17%)再利用の効果も 0.05 ポイント程度と小さい。
- ・2045 年のアップは、生活節水の効果であるが、これも 0.05 ポイント程度である。

図 7.63 インドネシアの「生活用水ストレス」～「計算オプション」等の効果



③ 渇水の影響 (図 7.62 S1_A-02)

- ・渇水を考慮すると最大で 0.063 ポイント低下するが、渇水の影響は大きい。

(2) 工業用水ストレス

① 新規水資源開発の効果

- ・ 工業用水ストレスは、S1_Aでも「0.9」となっており、新規水資源開発の効果は大きい（図 7.63）。
- ・ S1_Bでは、「0.6」程度まで漸減する。

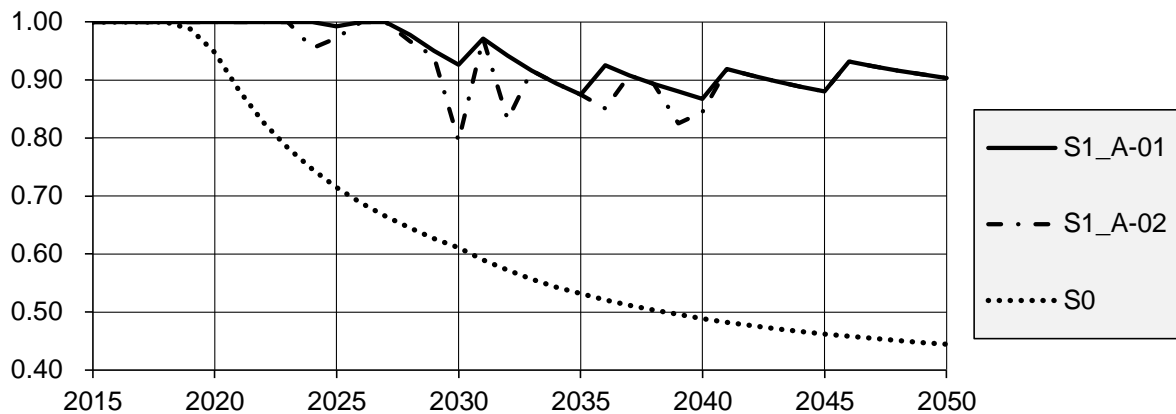
② 生活節水+工業用水回収水(17%)再利用の効果

- ・ S1_Aで「1.0」を確保できている。

③ 渇水の影響（図 7.64 S1_A-02）

- ・ 渇水を考慮すると最大で 0.13 ポイント低下する。渇水の影響は大きい。

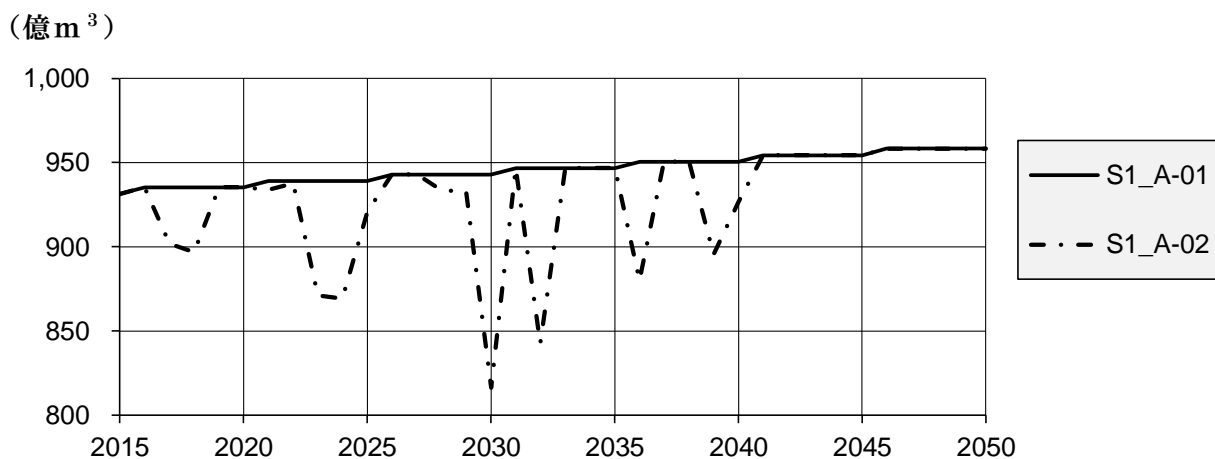
図 7.64 インドネシアの「工業用水ストレス」～「渇水」の影響



(3) 農業用水供給量

- ・ 工業用水の回収水(17%)は、都市用水の不足量の補てんに充当され、農業用水は増加していない（「S1_A-01」＝「S1_A-07」）。
- ・ 渇水によって、最大 13.4%減少する。

図 7.65 インドネシアの「農業用水供給量」～「渇水」の影響



(4) 主要農作物 4 品目の自国生産量の過不足量

① 米（水田）

- ・ 2000 年農業用水量（S0）で需要量を満足する生産量が確保できている。
- ・ 生産量に対する渇水の影響はない。
- ・ 新規水資源開発の効果により S1_A-01 の生産量は 2050 年/2000 年で、1.44 倍に増加している。

② 小麦

- ・ インドネシアは、小麦を生産していない。
- ・ 需要（不足）量は、人口の増加とともに大きくなっている。

③ トウモロコシ、大豆

- ・ とともに「天水ストレス」が 0.9 以上であることから新規水資源開発の効果等は反映していない。生産量に対する渇水の影響はない。
- ・ 生産量は 2050 年/2000 年で、トウモロコシ：1.84 倍、大豆：0.85 倍となっているが、不足量は人口の増加とともに大きくなっている。

(5) 主要農作物 4 品目の自給率・充足率（S1_A-01）

- ・ 再配分後であってもトウモロコシと大豆が不足している。

表 7.11 インドネシアにおける農作物の「自国生産自給率」と「再配分後充足率」

	2015 年～2050 年の平均値	
	自国生産 自給率 (%)	再配分後 充足率 (%)
米（水田）食用	100.0	100.0
小麦食用	0.0	100.0
トウモロコシ食用	100.0	100.0
大豆食用	90.4	100.0
小麦飼料用	0.0	100.0
トウモロコシ飼料用	80.8	90.6
トウモロコシ加工用	4.4	8.9
大豆加工用	1.0	20.1

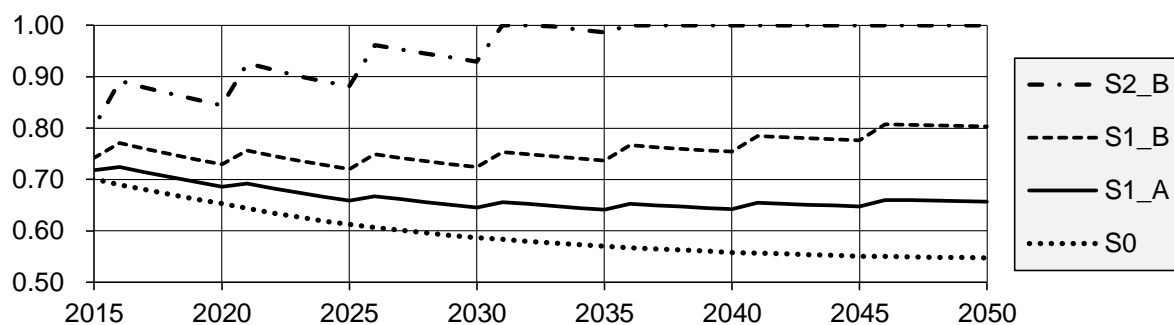
7.7.7 ブラジル

(1) 生活用水ストレス

① 新規水資源開発の効果

- ・第5章で見たように、人口と一人当たり GDP の増加で生活用水の需要は急激な増加を示している（図 5.10）。
- ・生活用水の供給量を 30% から 70% に増やした水配分の効果はあるものの新規水資源開発 2% では全く足りない。
- ・新規水資源開発 5% の効果は大きいですが、それでも不十分であるものと予想される。

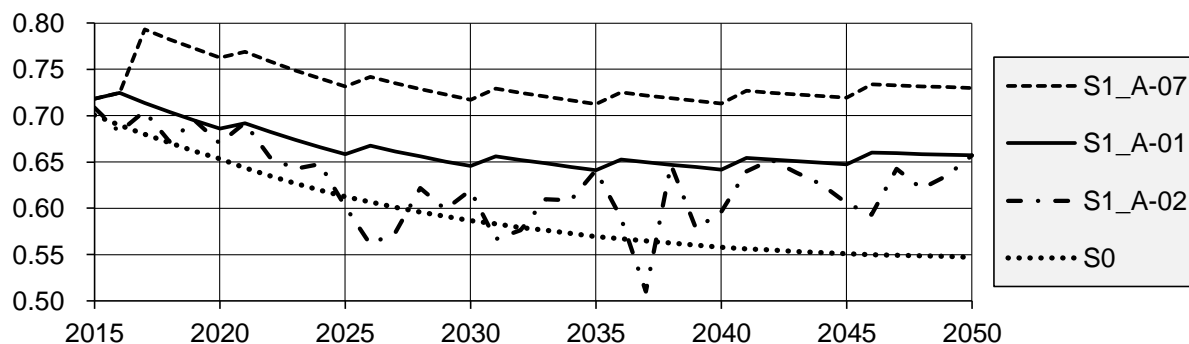
図 7.66 ブラジルの「生活用水ストレス」～「新規水資源開発」の効果



② 生活節水+工業用水回収水(17%)再利用の効果（図 7.67 S1_A-07）

- ・ブラジルの 2000 年の工業用水比率は、19% 程度と比較的大きいこと、2017 年に生活節水の閾値 10,000 ドルに到達することから、両者の効果は大きい。

図 7.67 ブラジルの「生活用水ストレス」～「計算オプション」等の効果



③ 渇水の影響（図 7.67 S1_A-02）

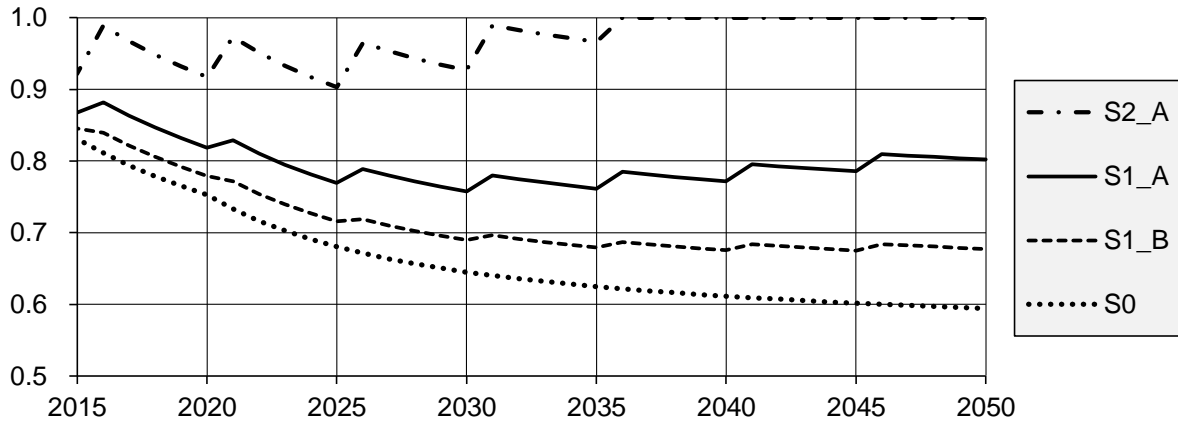
- ・渇水を考慮すると最大で 0.15 ポイント低下する。
- ・これは、生活節水+工業用水回収水(17%)再利用の効果よりも大きい減少量であり、渇水の影響は大きい。

(2) 工業用水ストレス

① 新規水資源開発の効果

- ・ S1_A の工業用水ストレスは、需要増大につれて漸減する。新規水資源開発比率 2 % では足りない。
- ・ S1_B では、「0.9~1.0」を確保できている。

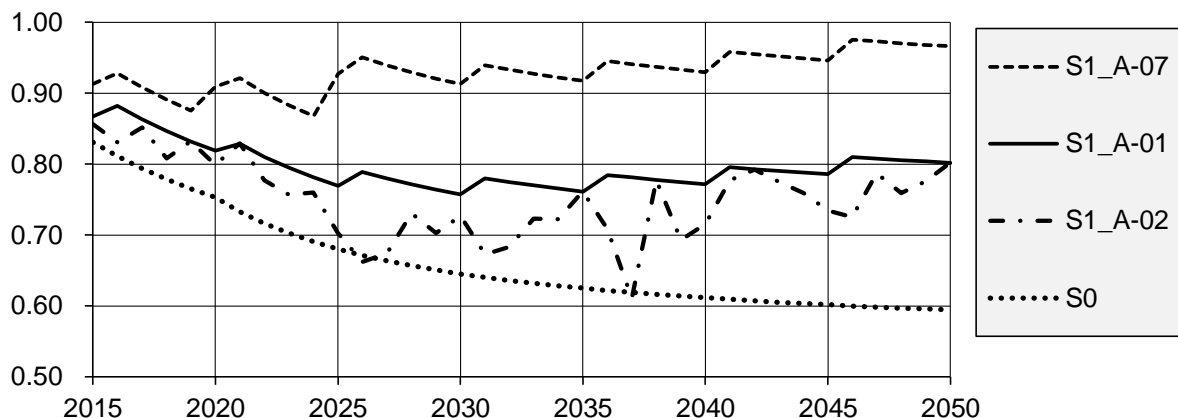
図 7.68 ブラジルの「工業用水ストレス」～「新規水資源開発」の効果



② 生活節水+工業用水回収水(17%)再利用の効果

- ・ S1_A で最大 0.17 ポイントの改善がみられ、ほぼ「0.9」以上を確保できしており、効果は大きい。

図 7.69 ブラジルの「生活節水」～「計算オプション」等の効果



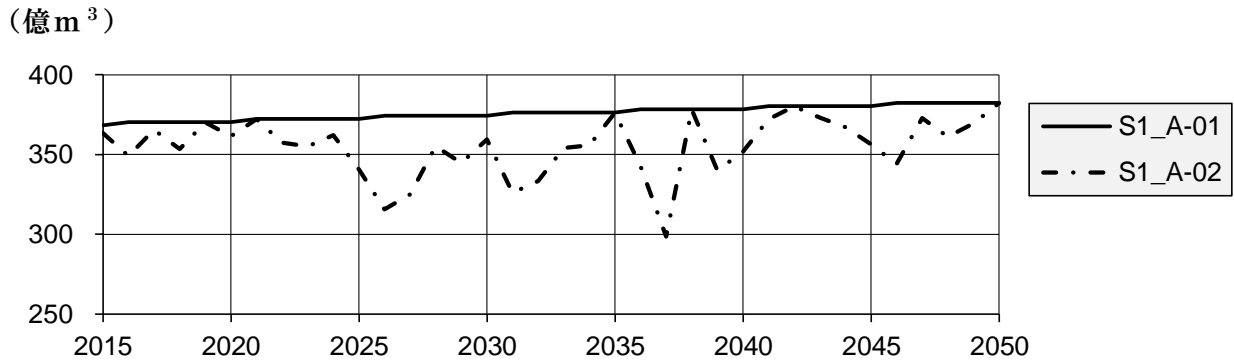
③ 渇水の影響 (図 7.69 S1_A-02)

- ・ 渇水による低減は、ほぼ毎年のように生じており、最大で 0.17 ポイント低下する。渇水の影響は大きい。

(3) 農業用水供給量

- ・工業用水の回収水(17%)は、都市用水の不足量の補てんに充当され、農業用水は増加していない(「S1_A-01」=「S1_A-07」)。
- ・渇水によって、最大 21.0%減少する。渇水の影響は大きい。

図 7.70 ブラジルの「農業用水供給量」～「渇水」の影響



(4) 主要農作物 4 品目の自国生産量の過不足量

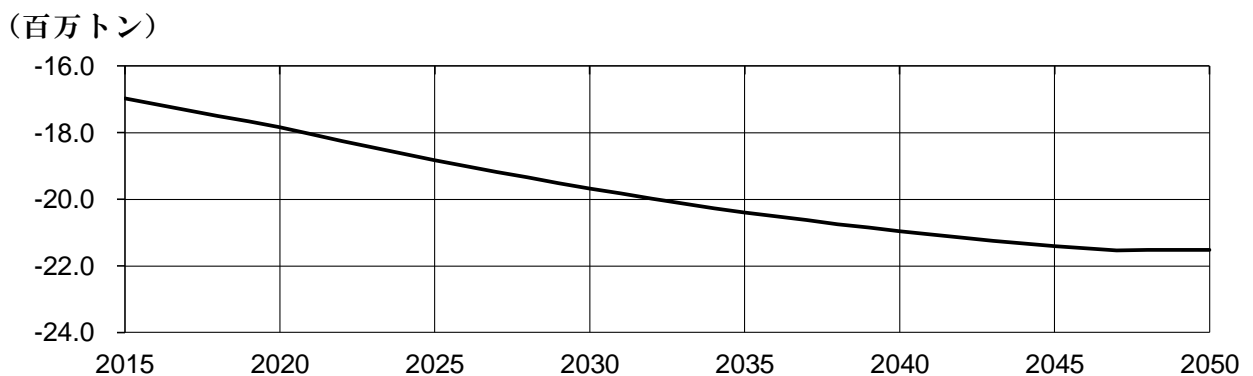
① 米 (水田)

- ・「天水ストレス」は、0.5 前後であるが、灌漑によって 2000 年農業用水量 (S0) でも「灌漑用水ストレス」は 1.0 近くを確保できていることから、渇水の影響はない。
- ・S1_A-01 の生産量は 2050 年/2000 年で 0.35 倍に減少しているが、需要量も減少しているので不足量はほんの僅かである。

② 小麦

- ・「天水ストレス」が 0.9 近くとなっているので「灌漑用水ストレス」は 1.0 を確保できていることから、渇水の影響はない。
- ・生産量は 2050 年/2000 年で、3.23 倍に増加しているが、生産量自体が少ないことと需要量の増大により、不足量は年々大きくなっている。

図 7.71 小麦の自国生産量の不足量 (ブラジル)

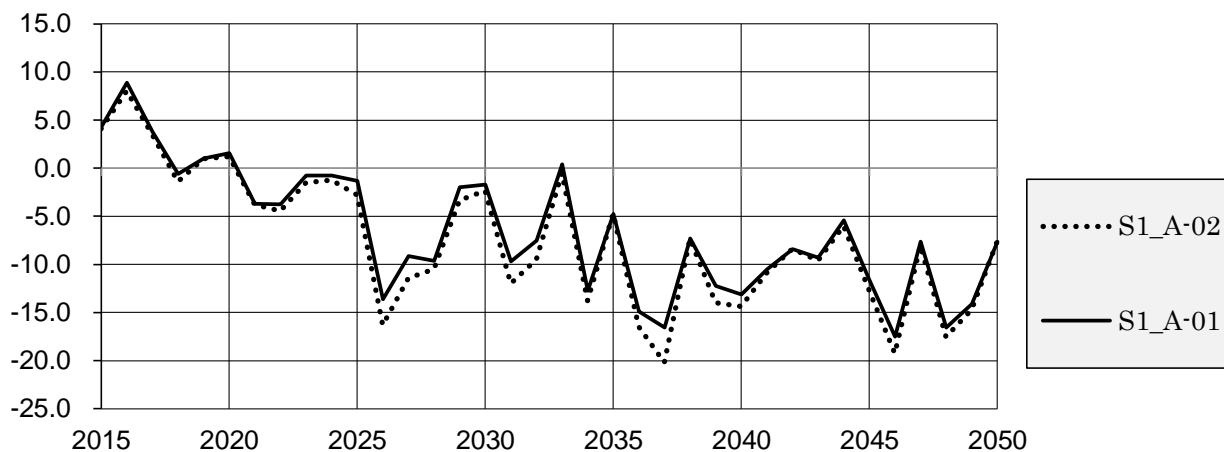


③ トウモロコシ

- S1_A-01の「灌漑用水ストレス」は、0.7前後となっていることから、降雨量の多寡の影響を受けている。渇水による減収量も大きい。
- 生産量は2050年/2000年で、1.70倍、2050年の生産量は54（百万トン）であるが、需要量の増大により不足量は大きくなっている。

図 7.72 トウモロコシの自国生産量の過不足量（ブラジル）

（百万トン）

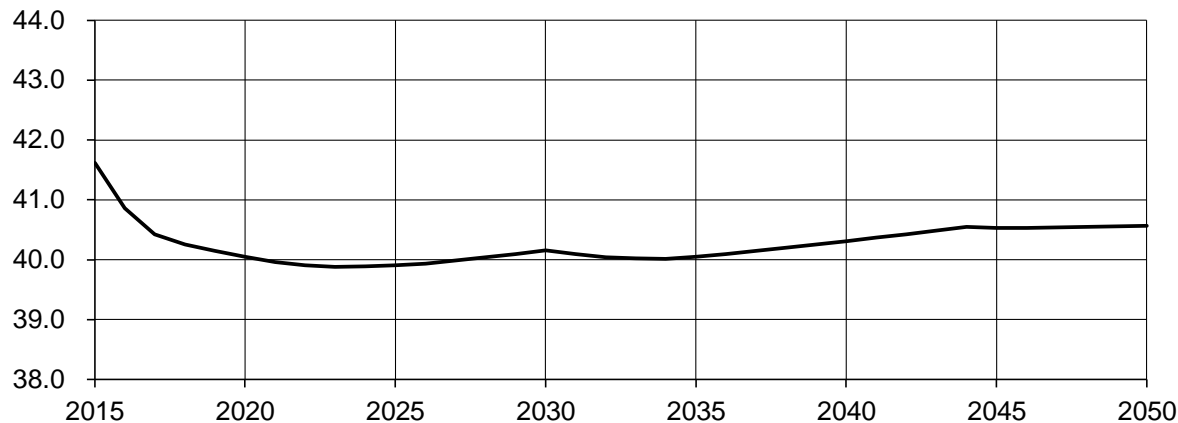


④ 大豆

- 「天水ストレス」が1.0近くとなっているので、渇水の影響はない。
- 生産量は2050年/2000年で2.14倍と増加しているが、需要量の増加を差し引いた余剰量は、横ばいとなっている。

図 7.73 大豆の自国生産量の余剰量（ブラジル）

（百万トン）



(5) 主要農作物4品目の自給率・充足率 (S1_A-01)

- ・自国生産自給率が低い小麦も再配分によって100%の充足率を確保できる可能性が高い。

表 7.12 ブラジルにおける農作物の「自国生産自給率」と「再配分後充足率」

	2015年～2050年の平均値	
	自国生産自給率 (%)	再配分後充足率 (%)
米 (水田) 食用	97.9	100.0
小麦 食用	29.1	100.0
トウモロコシ 食用	100.0	100.0
大豆 食用	100.0	100.0
小麦 飼料用	0.0	100.0
トウモロコシ 飼料用	94.7	98.7
トウモロコシ 加工用	35.6	71.1
大豆 加工用	100.0	100.0

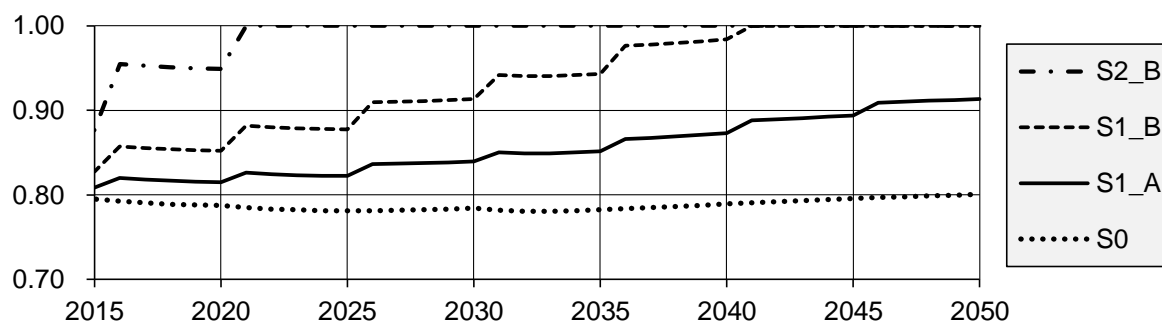
7.7.8 南アフリカ

(1) 生活用水ストレス

① 新規水資源開発の効果

- ・第5章で見たように、人口と一人当たり GDP の増加で生活用水の需要は急激な増加を示している (図 5.10)。
- ・生活用水の供給量を30%から70%に増やした水配分の効果はあるものの新規水資源開発2%では足りない。
- ・新規水資源開発5%の効果は大きいですが、それでも十分とは言えないものと予想される。

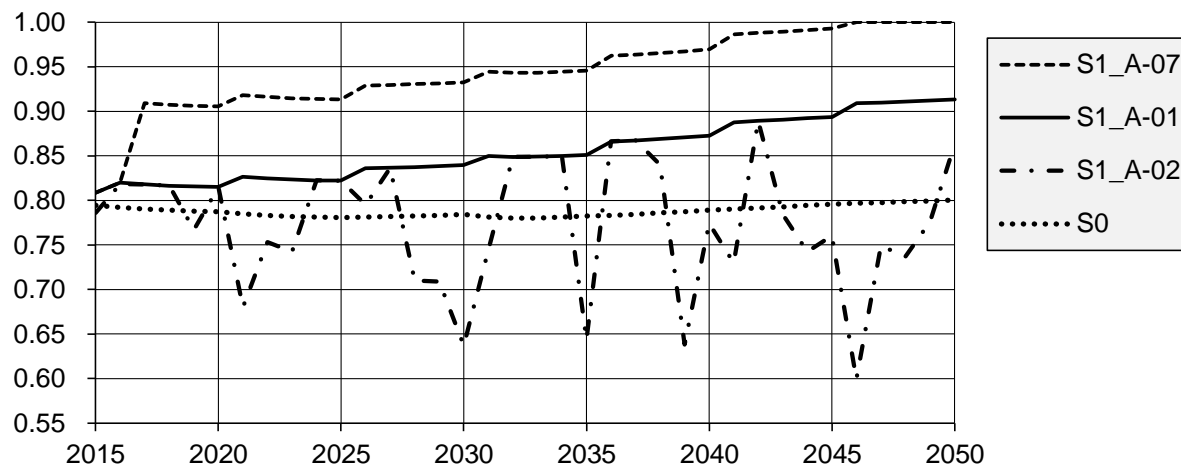
図 7.74 南アフリカの「生活用水ストレス」～「新規水資源開発」の効果



② 生活節水+工業用水回収水(17%)再利用の効果 (図 7.75 S1_A-07)

- ・南アフリカの 2000 年の工業用水比率は 6.0%程度と比較的小さいが、2017 年に生活節水の閾値 10,000 ドルに到達することから、これらの効果は大きい。

図 7.75 南アフリカの「生活用水ストレス」～「計算オプション」等の効果



③ 渇水の影響 (図 7.75 S1_A-02)

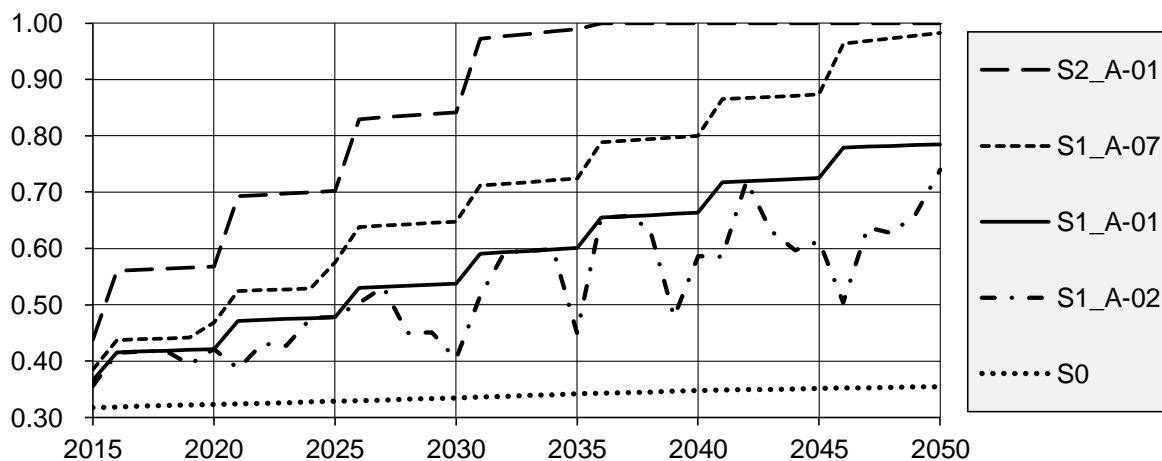
- ・渇水を考慮すると最大で 0.3 ポイントも低下する。
- ・これは、生活節水+工業用水回収水(17%)再利用の効果よりもはるかに大きい減少量であり、渇水の影響は非常に大きい。

(2) 工業用水ストレス

① 新規水資源開発の効果

- ・新規水資源開発率 2%で工業用水ストレスは大きく改善されているが、まだ足りていない。
- ・新規水資源開発 5%の効果は大きいですが、それでも十分とは言えない。

図 7.76 南アフリカの「工業用水ストレス」～「新規水資源開発」等の効果



② 生活節水+工業用水回収水(17%)再利用の効果 (図 7.76 S1_A-07)

- ・ S1_A で最大 0.1 ポイントの改善がみられ、効果は大きい。

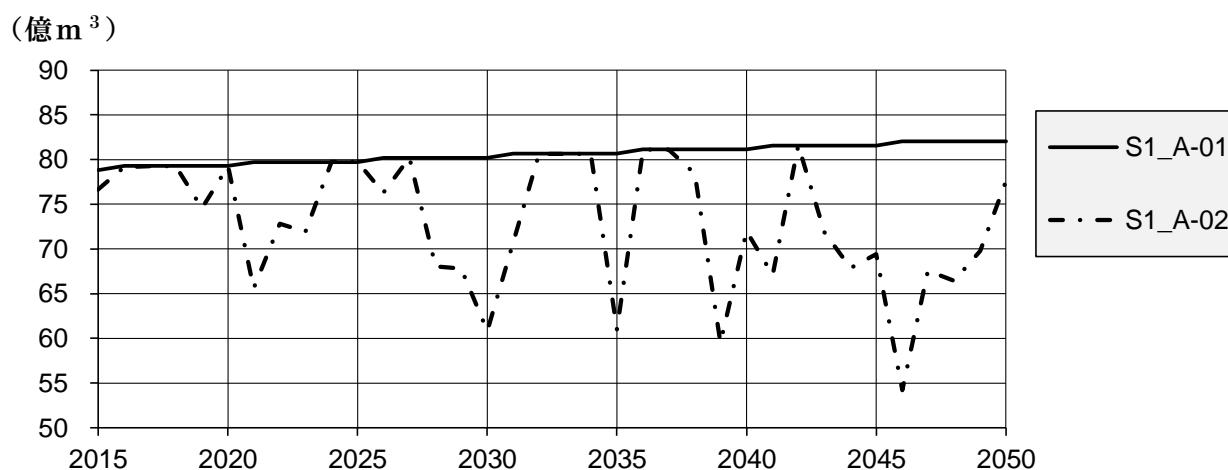
③ 渇水の影響 (図 7.76 S1_A-02)

- ・ 渇水による低減は、最大で 0.3 ポイント弱の低下となっており、渇水の影響は非常に大きい。

(3) 農業用水供給量

- ・ 工業用水の回収水(17%)は、都市用水の不足量の補てんに充当され、農業用水は増加していない (「S1_A-01」 = 「S1_A-07」)。
- ・ 渇水によって、最大 34.0% 減少する。渇水の影響は非常に大きい。

図 7.77 南アフリカの「農業用水供給量」～「渇水」の影響



(4) 主要農作物 4 品目の自国生産量の過不足量

① 米 (水田)

- ・ 「天水ストレス」は、0.1 前後であるが、灌漑によって 2000 年農業用水量 (S0) でも「灌漑用水ストレス」は 1.0 を確保できていることから、渇水の影響はない。
- ・ S1_A-01 の生産量は 2050 年/2000 年で 1.21 倍に増加しているが、2050 年の生産量は 0.0036 (百万トン) と小さく、需要量に対する供給量のほとんどが再配分によるものである。

② 小麦

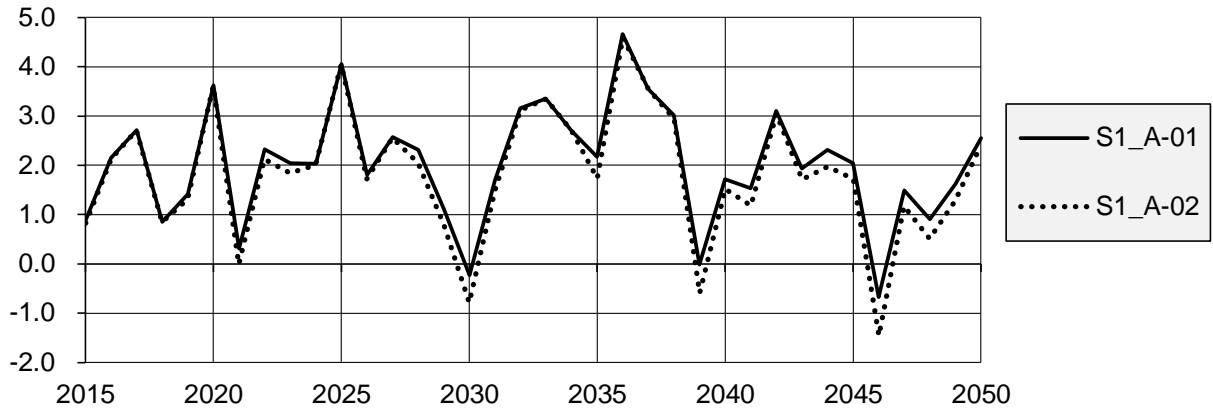
- ・ 「天水ストレス」は、0.1 前後であるが、「灌漑用水ストレス」は 1.0 を確保できていることから、渇水の影響はない。
- ・ 生産量は 2050 年/2000 年で 1.26 倍、2050 年の生産量は 3.04 (百万トン) に増加しており、不足量は年々減少しているが、2050 年で 1.7 (百万トン) の不足量となっている。

③ トウモロコシ

- S1_A-01の「灌漑用水ストレス」は、0.6前後となっていることから、降雨量の多寡の影響を受けている。渇水による減収量も大きい。
- 生産量は2050年/2000年で1.19倍、2050年の生産量は13.6（百万トン）である。
- 生産量が需要量を上回り、余剰が生じている。

図 7.78 トウモロコシの自国生産量の過不足量（南アフリカ）

（百万トン）

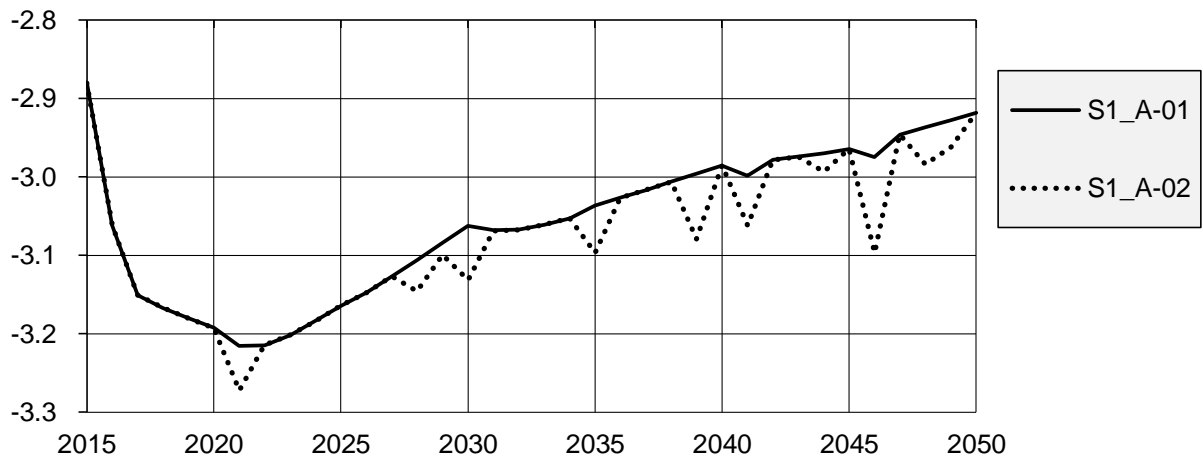


④ 大豆

- 「天水ストレス」は0.5前後で、灌漑によって「灌漑用水ストレス」は0.9以上を確保できているが、渇水により減収が生じている年がある。
- 生産量は2050年/2000年で4.5倍と増加しているが、2050年の生産量は0.69（百万トン）と小さく、需要量に対する供給量のほとんどが再配分によるものである。

図 7.79 大豆の自国生産量の不足量（南アフリカ）

（百万トン）



(5) 主要農作物4品目の自給率・充足率 (S1_A-01)

- ・自国生産自給率が低い米（水田）と小麦も再配分によって100%の充足率を確保できる可能性が高い。

表 7.13 南アフリカにおける農作物の「自国生産自給率」と「再配分後充足率」

	2015年～2050年の平均値	
	自国生産 自給率 (%)	再配分後 充足率 (%)
米（水田）食用	0.2	100.0
小麦食用	29.1	100.0
トウモロコシ食用	100.0	100.0
大豆食用	100.0	100.0
小麦飼料用	0.0	100.0
トウモロコシ飼料用	100.0	98.7
トウモロコシ加工用	95.7	97.7
大豆加工用	11.2	100.0

7.7.9 主要地域別

(1) 生活用水ストレス

- ・東西ヨーロッパは、新規水資源開発シナリオ S1 でほぼ「1.0」を確保できるが、他の地域は将来の人口増加により生活用水ストレスが大きく低下するものと予想される。
- ・特に、地中海沿岸国を除くアフリカの生活用水の不足は顕著となっている。
- ・日本、中華人民共和国、インド、インドネシアの4か国を除く東アジアでは、バングラデシュとカンボジアの生活用水不足が顕著となっている。
- ・パキスタンを含む中近東では、イエメン、パキスタンでの不足が顕著となるものと予想されている。また、産油国の表流水からの取水量比率を低く設定したこともあって不足が顕著であるが、将来的には「脱塩淡水化」の依存度が増加することが想定される。
- ・新規水資源開発シナリオ S2 では、不足が若干緩和されるものの傾向は同様であり、特に、地中海沿岸国を除くアフリカの生活用水の不足は深刻な状況に変わりはない。

図 7.80 地域別の「生活用水ストレス (S1_B)」

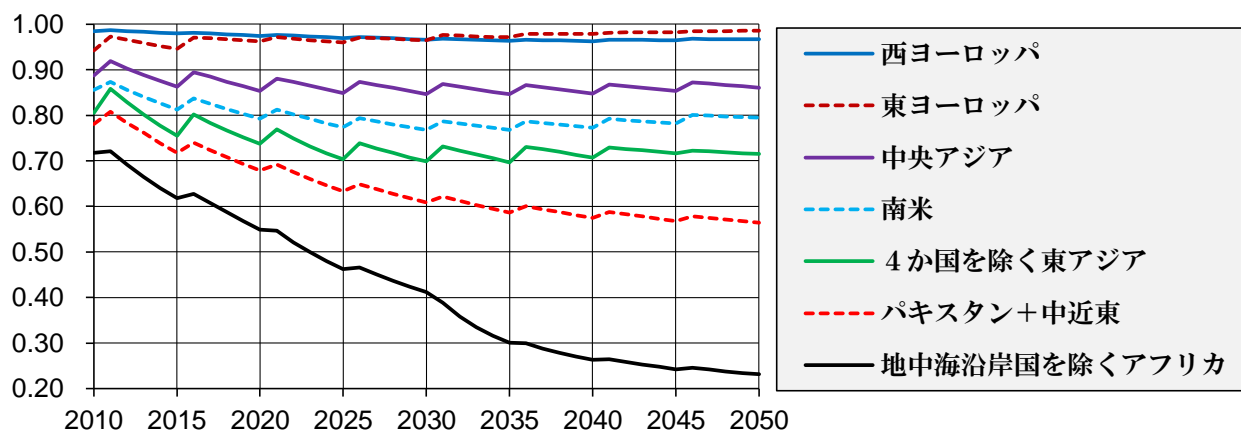
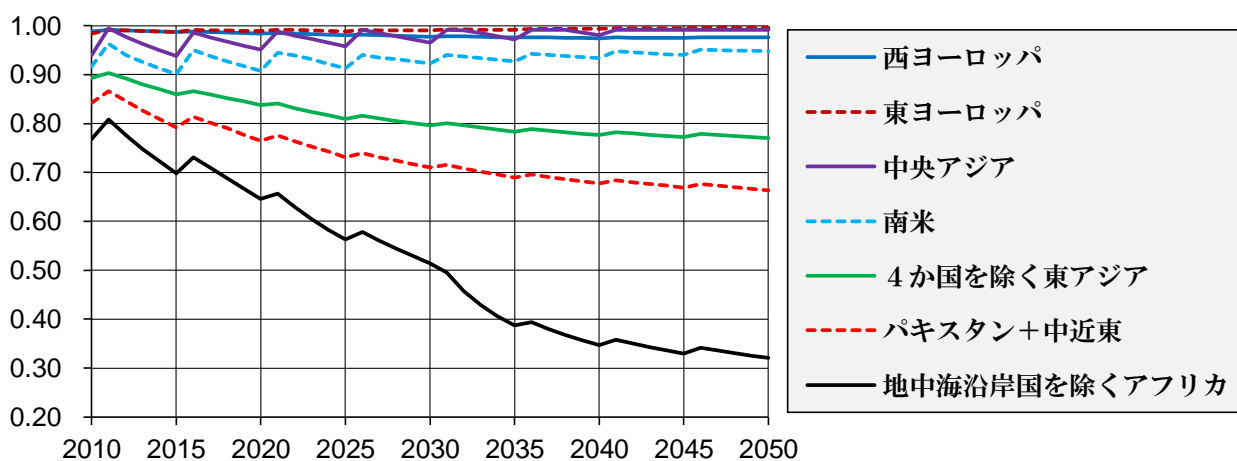


図 7.81 地域別の「生活用水ストレス (S2_B)」



(2) 工業用水ストレス

- ・新規水資源開発 2 %では、不十分な地域が多い。
- ・アフリカは、新規水資源開発 5 %でも不足が顕著と予想されている。

図 7.82 地域別の「工業用水ストレス (S1_A)」

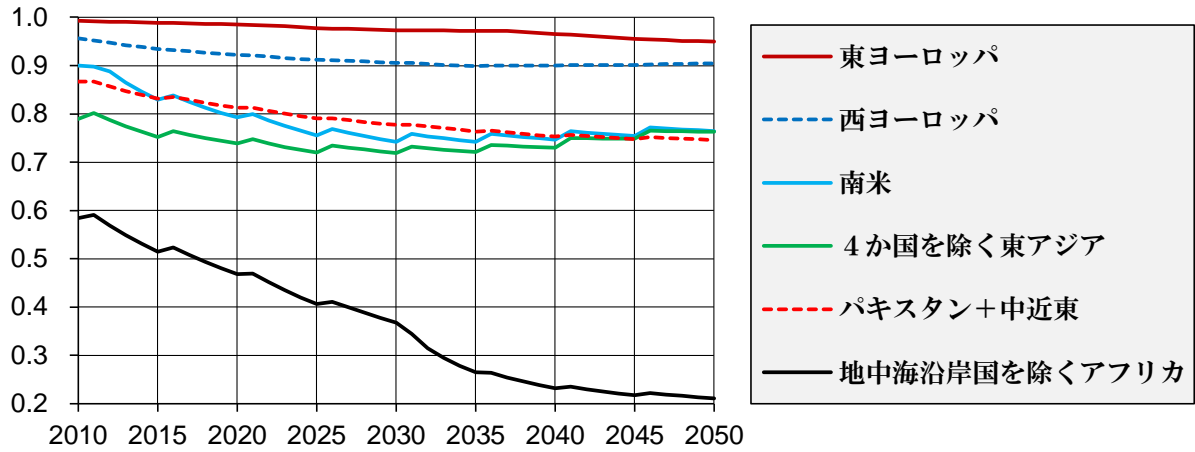
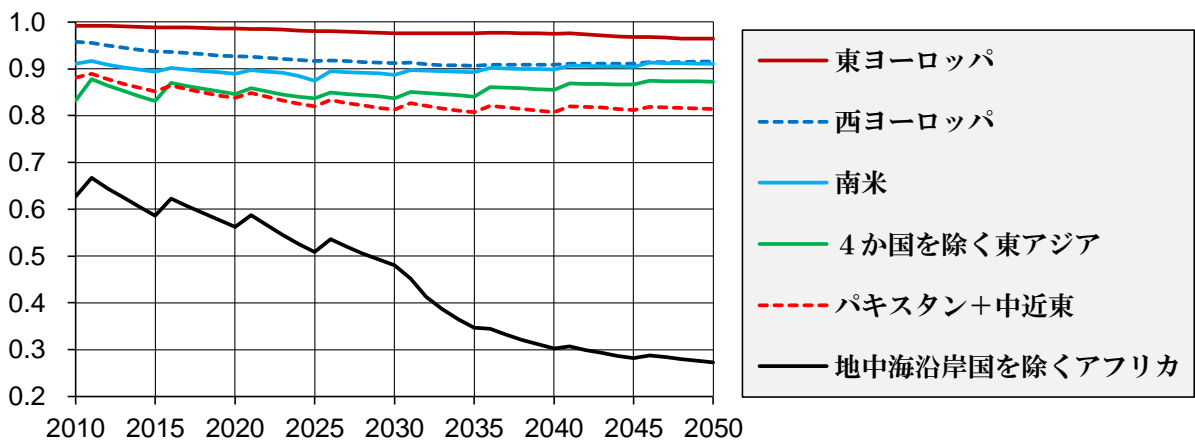


図 7.83 地域別の「工業用水ストレス (S2_A)」



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

8.1.1 生活用水需要量推計モデル

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の仮定に基づき「1人当たり生活用水量」と「1人当たりGDP」との関係式を設定したが、この仮定は、図5.1を見から妥当であったと考えられる。

さらに、生活用水の使用量は、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、4つの地域・経済ブロックに区分しそれぞれ関係式を設定したこと、166か国ごとに2000年の生活用水量実績に合わせて「平行移動」又は関係式に乗るまでの間は「横ばい」する配慮を行ったことにより、個々の国の実情を反映した推計モデルになっていると考えている。

また、節水機器の導入による節水効果を計算できるようにしたことは、本推計モデルの特筆すべき点であると考えている。

8.1.2 工業用水需要量推計モデル

工業は、いずれの国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の仮定に基づき、実績データからアメリカ合衆国と中華人民共和国は単独、その他の国々は4つの地域・経済ブロックに区分しそれぞれ関係式を設定したこと、2000年の工業用水量実績に合わせて「平行移動」又は関係式に乗るまでの間は「横ばい」する配慮を行ったことにより、個々の国の実情を反映した推計モデルになっていると考えている。

また、回収水の再利用による節水効果を計算できるようにしたことは、本推計モデルの特筆すべき点であると考えている。

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

1) 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)」から関係式を設定し、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が、推計した一人当たりの消費カロリーを見るに、上限値と下限値を設定したことで妥当な結果となっていると考えている。

2) 飼料用需要量

本研究において、主要肉類3品（牛肉、豚肉、家禽）の実績消費量と飼料用農作物の消費量との間に直線的な相関関係があること（図 6.18、図 6.20）を見出したことは特筆すべき点であると考えている。

主要肉類3品の消費量の推計は主要農作物の食用需要量と同様に行ったが、推計した一人当たりの消費カロリーを見るに、上限値と下限値を設定したことで妥当な結果となっていると考えている。

したがって、飼料用需要量の推計値も妥当な結果となっていると考えている。

3) 加工用需要量

本研究において、植物性油の実績消費量と加工用農作物の消費量との間に直線的な相関関係があること（図 6.21、図 6.22）を見出したことは特筆すべき点であると考えている。

植物性油の消費量の推計は主要農作物の食用需要量と同様に行ったが、推計した一人当たりの消費カロリーを見るに、上限値と下限値を設定したことで妥当な結果となっていると考えている。

したがって、加工用需要量の推計値も妥当な結果となっていると考えている。

8.1.4 主要農作物生産量推計モデル

主要農作物の将来生産量は、『期待灌漑農地単収』（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）という概念を導入し、「実際の生産量は農業用水の充足度のみで左右される」との仮定のもとに、灌漑用水供給量と降雨量（『天水量』）から算出した農業用水供給量を灌漑農地と非灌漑農地にそれぞれ与えることにより計算するモデルを提案した。

灌漑用水供給量は、AQUASTAT 統計データに示された灌漑用水の供給期間及び灌漑用水供給比率（表 7.1）に基づき算出したことから、一期作・二期作も考慮した推計となっている。また、天水量は、気候変動を考慮した水資源賦存量の月別データから算出したものである。

このように本推計モデルは、農作物の生産実態に即した精緻なモデルになっており、灌漑農地・非灌漑農地の変化はもとより、例えば、図 11.42 に見るように、将来の水資源開発等による灌漑用水の増減や気候変動による天水量の多寡が農作物生産量の推計に反映できるものとなっている点が特筆すべき優れた特徴であると考えている。

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

1) 表流水からの取水量（新規水資源開発シナリオ）

本研究では、経済ブロック別に5年毎の一定率の新規水資源開発率を設定したが、この率を166か国それぞれ個別に設定できるプログラムにしている。また、5年毎

の新規水資源開発率を変化させるようにプログラムを書き換えることも容易である。

したがって、特定の国を対象として、複数の新規水資源開発シナリオの効果を検討できる拡張性の高いモデルとなっている。

2) 地下水からの取水量、脱塩淡水化製造量

本研究では、地下水取水量が相対的に多いアメリカ合衆国、中華人民共和国、インドの3か国の地下水取水量の減少の影響のみを組み込んだが、これも166か国それぞれ個別に計算できるようにプログラムを書き換えることも容易である。

脱塩淡水化製造量についても同様である。

3) 渇水による表流水からの取水量の減少

1990年～1999年までの水資源賦存量の平均値を母数として、2000年から2050年の水資源賦存量から「渇水率」を算出し、表流水からの取水量を減少させる計算をオプションとして組み込んだ。

水資源賦存量の推計計算精度がさらに向上することが想定されることから、「渇水」による影響を推計するための妥当な方法であると考えている。

4) 水利用の考え方（水配分シナリオ）

第5章で記載したように先進国以外の国々では、「生活用水」と「工業用水」の大きな需要増加が予想される。加えて、人口増加に対応して農作物生産量を増加させるための「農業用水」需要の増加圧力も高まることは当然のことと予想されるが、一方、現実的な新規水資源開発には多くの困難も予想されることから、「利用可能水資源量」の配分シナリオが重要な意味を持つことになる。

本研究では経済ブロック別に大まかな水配分シナリオを設定したが、特定の国を対象として、より詳細な水配分シナリオの効果を検討できる拡張性の高いモデルとなっている。

5) 農作物生産量の消費の考え方（穀物消費シナリオ）

「生産余剰量」の再配分以外は、FAOSTAT統計に示されている実態に即した消費シナリオになっている。

再配分は、経済力のみを指標とすると不足が補てんされない他州の国が生じてしまう。食糧が困窮する国々に対する様々な援助もあることから、本研究で設定した再配分方式でもそれほど齟齬はないものと考えている。

6) 影響分析の評価指標

生活用水、工業用水、農業用水の不足の程度（水ストレス）に加えて、一人当たりの生活用水量や食品消費カロリーでも評価ができるようにした。これにより、166か国別に気候変動等による水困窮人口や食料困窮人口の推移を評価できる推計モデルとなっている点は優れていると考えている。

8.2 今後の研究課題と展望

8.2.1 主要農作物生産量推計モデル

1) 穀物水消費原単位と係数「 γ 」

本推計モデルは、「実際の生産量は農業用水の充足度のみで左右される」と仮定し、必要農業用水量の算出（式 7-3、7-4）にあたって「穀物水消費原単位」が重要な意味を持っている。この「穀物水消費原単位」は、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ことから、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」と仮定して日本の数値を使用（式 7-7）したが、本来であれば、品種や耕作地の気温・土壌などによって異なるはずである。

FAOSTAT 統計の灌漑用水量、AQUASTAT 統計の月別降水量、灌漑農地からの推計生産量から大まかな値を計算することは可能であるが、実際の農作物の生産には、土壌中の水分、すなわち、土壌の湿潤度合いや蒸発散量も大きな影響を与えている。この土壌の湿潤度・蒸発散量は、式 7-5、7-6 の係数「 γ 」に相当するが、この値は各種統計値から算定することは困難である。

したがって、実際の農地での調査が必要であることから、国内外の大学との共同研究や衛星観測データの活用などによる「穀物水消費原単位」と係数「 γ 」の算出が今後の研究課題である。

2) 灌漑農地面積と灌漑形態の反映

FAOSTAT 統計には、表流水からの取水を水源とする「完全にコントロールされた灌漑農地」と降水に依存するため池など「何らかの灌漑をしている農地」の区分が示されていたが、灌漑農地面積自体の統計データが少ないために本研究には反映できていない。

農作物の生産量より正確な推計にあたって灌漑形態の反映は今後の研究課題であると考えているが、灌漑用水路を整備しても用水量が十分でなければ全体として生産量が減少してしまうことも想定される。したがって、灌漑用水量に対応した「適正な灌漑面積」という概念を考慮する必要があるのではないかと考えている。

3) 耕作期間内の農業用水供給量の反映

農作物の生産と水供給の関係の観点から見れば、発芽期、成長期、開花期、結実期といった成長の過程で必要な農業用水量が異なるものと想定されるが、本研究ではこの関係を反映できていない。

気候変動を反映した水資源賦存量は、月別の値が計算されていることから成長過程と農業用水供給量の間を反映することは可能であり、今後の研究課題であると考えている。

4) 先進国等の農業用水供給量

AQUASTAT 統計データでは発展途上国等について、表 7.1 に示した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が、先進国等のパターンが示されていないことから同じ気候帯に属する国を参考に、灌漑用水のコントロールがされているとの前提で主要農作物 4 品目の生産量が最大となるように設定した。

主要農作物 4 品目の生産量を重視した結果として、それ以外の作物への農業用水供給量を軽視したものとなっている可能性がある。この点も今後の研究課題であると考えている。

5) 「施肥」による増産効果

本研究では、「施肥」による増産効果は組み込まなかったが、この点は今後の研究課題であると考えている。

6) 「渇水」の考慮

「渇水」は、気候変動を考慮した水資源賦存量の計算値から設定したが、南アフリカ・ブラジルなど南半球の国々では、当初考えていたよりも渇水率が大きく農作物の生産量に与える影響は軽視できないものであった。灌漑用水の供給実態や農作物の成長過程に対応した農業用水必要量等を反映した「渇水」の考慮は今後の研究課題であると考えている。

7) 水ストレスによる生産量の減収効果

水ストレスによる生産量の減収効果は、図 7.2 の示したように直線としての関係を設定したが、ある閾値によって大きく変動するものと考えられる。おそらく、直線よりは「S 字カーブ」のような関係が適当かもしれない。この点も、今後の研究課題であると考えている。

8) 「洪水」による生産量の減収効果

IPCC の報告書によれば、気候変動によって「洪水」や「高潮」による被害の増大が警告されている。これらの水災害は、日本の例に見るようにどの地域でも発生する可能性があるが、気象現象と地形と防御設備の状況との関係で実際の被害は一部地域に限定される。さらに、農作物の種類や成長期によっても被害の程度は異なっており、減収効果の反映は困難な点が多い。この点については、国別にマクロな氾濫モデルを作成し、被害発生確率を想定することである程度の減収効果を算定することが可能であると考えられる。この点も今後の研究課題であると考えている。

9) 平均気温の変動による生産量への影響

水資源賦存量のシミュレーション計算には平均気温の変化も含まれていることから、気温の変化に伴う耕作面積や生産量の増減を評価することは可能であると思われるが、品種改良や品種転換などについても考慮する必要が出てくる。この点も今後の研究課題であると考えている。

8.2.2 表流水からの取水による水資源開発シナリオ

本研究では、経済ブロック別に5年毎の一定率の新規水資源開発率を設定したが、この率を166か国それぞれ個別に設定できるプログラムにしている。また、5年毎の新規水資源開発率を変化させるようにプログラムを書き換えることも容易である。

問題は、「ダム等の水資源開発の根幹となる施設の整備や取水・供給施設整備をどのように想定するか？」という点である。さらに、日本のように水資源開発余力の少ない国とアフリカのように水資源開発余力の大きい国がある。一方、水資源開発には経済的投資が必要であるが、アフリカ諸国等発展途上国にはその経済力が欠乏していることに加え、円滑な開発を妨げている政治的な問題も山積している。

したがって、特定の国を対象として経済的・政治的・技術的な状況を織り込んだ「水資源開発シナリオ」の構築が今後の研究課題であると考えている。

8.2.3 地下水からの取水量

アメリカ合衆国、中華人民共和国、インド、イラン等地下水からの取水量比率が相対的に大きい国が多い中で、取水障害が発生しているとの報告も示されている。有限な資源である地下水からの取水が安定定期にいつまで行えるか否かは、重要な問題である。これに関するデータは少ない（公開されていない）が、今後の重要な研究課題であると考えている。

8.2.4 脱塩淡水化製造量

脱塩淡水化は、産油国のように高い経済力を有している一方で水資源に乏しい国においては重量な水資源となっている。スペイン等の先進国においても脱塩淡水化製造量を増やす動きがある。本研究では、絶対量が小さい脱塩淡水化製造量の増加を考慮しなかったが、特定の国を対象とした「水資源開発シナリオ」の構築においては考慮する必要があると考えている。

8.2.5 生活用水需要量推計モデル

生活用水は、IPCCの温室効果ガス排出シナリオ（SRESシナリオ）に対応した「CIRESIN（Center for International Earth Science Information Network, EARTH INSTITUTE/Columbia University）」の「一人当たりGDP（1990US\$MEX）」の想定値との関係から需要量を推計するモデルを構築した。

「CIRESIN」の想定値は、CO₂の排出量を想定することが主たる目的で設定されたものである。その意味においては、トレンド傾向の反映と将来に対する「期待値」を内包していると言うことができる。特に、アフリカ諸国等経済的・政治的・技術的な問題の多い国が想定通りの発展を達成できるか否かについては更なる見当が必要であると考えられる。

生活用水の使用量については、経済的な側面だけでなく、水利用に係る歴史的な経緯から形成された生活様式や水利用に対する人々の意識、さらには、供給設備の整備への投資といった面からも検討する必要があると考えている。すなわち、生活用水の使用量には、国ごとに上限がある（すべての国が日本等先進国と同じレベルを志向しているとは限らない）のではないかという仮説である。節水意識についても同様であり、これら点も今後の研究課題であると考えている。

8.2.6 工業用水需要量推計モデル

工業用水は、「CIESIN」の国別の「GDP（1990US\$MEX）」の想定値との関係から需要量を推計するモデルを構築した。

工業は、いずれの国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、さらに、工業用水の供給量に工業の発展が影響を受ける点は、本推計モデルには反映できていない。特に、アフリカ諸国は 2000 年の実績値が低いことから想定した「水資源開発シナリオ」では大きな不足が生じている。後述する「水配分シナリオ」を含め、政策的な工業用水の供給量と工業の発展、すなわち、水資源供給可能量を制約条件とした「工業発展シナリオ」を検討する必要があると考えている。同様に、「工業用水の回収水の再利用」についても、政策的な取り組み状況も考慮する必要があると考えている。これら点も今後の研究課題であると考えている。

8.2.7 水配分シナリオ

「水配分シナリオ」は、各国各地域の産業構造や水利用形態から依存度・優先度の多寡を評価し、決定することが合理的であることから、表 10.3 のような配分の考え方を設定した。

生活用水、工業用水、農業用水は、相互にトレードオフの関係にあり本研究では、水資源量の総体量が不足する状況化においてはいずれも満足できないことを示した。これは、単なるシミュレーション結果といえども現実に近い推計であると考えている。すなわち、限られた水資源量をどのような配分をするかということが食料の確保、民生安定、工業の発展にとって政策的に重要な意味を持っていると言える。

「水資源開発シナリオ」と含め、その国の現状や将来予測に即した「水資源配分シナリオ」の設定は、今後の重要な研究課題であると考えている。

8.2.8 主要農作物の消費シナリオ

日本、韓国、中華人民共和国等では、一人当たりの GDP が高くなるに連れて主食である米の消費量が減少し肉類や植物性油の消費量が増加する傾向が認められた。一方で、発展途上国では、生活水準の向上とともに米・小麦等の主食の消費量の増加が認められた。

生活水準と主食の増加と減少の関係、肉類や植物性油、さらには、乳製品・いも類の消費との関係を精緻に分析する必要があると考えている。肉類については、宗教との関係、飼料用穀物の供給との関係から、例えば、ベトナムでは「ウサギ」の飼育が増加しているといった報告もあることから、その国の食文化の考慮など課題は多いが、今後の研究課題としては興味が大いにある分野であると考えている。

8.2.9 気候変動の世界の水資源量変化と社会的影響の分析評価指標

生活用水、工業用水、農業用水の不足の程度（水ストレス）に加えて、一人当たりの生活用水量や食品消費カロリーでも評価ができるようにした。これにより、166か国別に気候変動等による水困窮人口や食料困窮人口の推移を評価できる推計モデルとなっている点は優れていると考えている。

生活用水については、家庭での使用量と都市用水の区分が出来ていない。さらに、供給形態や安全性も考慮されていない。したがって、これらの点を評価し、水に困窮している実態を反映できるようにすることが今後の研究課題であると考えている。

さらに、表現方法（例えば、世界地図に色分けで表示する等）については、改善の余地があると考えている。

8.2.10 今後の展望

以上に課題を列挙したが、これらはデータをどれだけ収集できるかという問題であると総括できるが、国連のデータだけでは不十分であり、現地での調査が必要である。これについては、国内外の大学・研究機関との共同研究により課題を克服できる可能性が高い。

また、本研究では、東京大学の沖大幹教授の研究室から提供された気候変動を反映した水資源賦存量のシミュレーション計算結果を重要なファクターとして使用しているが、シミュレーション計算のメッシュサイズの細緻化等計算精度向上と主要河川ごとの集計などが可能となっている。

国内外との研究協力や最新のシミュレーション計算結果を使用することが可能であることから、本研究で構築したモデルは、今後の世界的な気候変動による水資源量変化と社会的影響を考察する上で、有益かつ将来性の高いものであると思料するものである。

8.3 結び

本研究で構築した推計モデルは、「実際の収穫量は農業用水の充足度のみに左右される」との仮定が前提となっていること、GDPのみを基本指標として現在の状況から将来の需要量を推計していること、気温の上昇による耕作作物品種の転換や洪水による減収が反映されていないことなど改良すべき点はあるが、気候変動による降雨量の影響や将来の水資源開発を含む灌漑用水の増減による効果を農作物の生産量の推計計算に反映できるようにしたこと、世界各国の経済発展状況や水利用に係る地域的な特性を考慮し地域別に推計式を設定したことなど、信頼性の高いものとなっていると考えている。

第 11 章に示した推計結果は、経済発展国や発展途上国が表流水からの取水量を 5 年ごとに 5 %（年率 1 %）ずつ増加させたとしても、需要を満たすどころか、不足量は年々増加するとの予想を得た。生活用水、工業用水の不足も同様であり、水不足や食料不足に困窮する人口の増大は世界全体にとって大きな不安定要因となることは確実であると思われる。気候変動による降雨量の変動は、これらの不足量の年変動に大きな影響を与える。さらに、渇水を考慮すれば不安定性は当然ながら拡大することになる。

人間の社会活動に伴って排出される CO₂ 等の温暖化ガスの排出量は、西ヨーロッパ諸国では減少しているものの日本を含む多くの国々では増加を続けていることから、冒頭で述べたように地球の温暖化は、IPCC の「A1 シナリオ」に近い状況で進行することが想定される。すなわち、地球の温暖化は不可避であり、本研究の推計結果が予想ではなく現実となる可能性も高いと考えられる。

水や食料に関して不安定要因が拡大すると予想される世界において、日本は、海外からの農作物の輸入に依存している危うさがあるとはいえ、これまで蓄積した経済力と社会インフラによって、少なくとも 2050 年までは安定が確保できると考えられる恵まれた国である。

食料や清浄な水にアクセスできないでいる世界の多くの人々が健康的で文化的な生活を享受できるように、

- ・ダム等による水資源の開発と効率的な運用
- ・水資源の確保と適正な配分のための法整備や制度の構築
- ・浄水施設の整備と管路からの漏水防止対策
- ・各種の節水技術の普及
- ・水再生技術の導入による「工業用水」の再生水利用率の向上
- ・河川や湖沼の水質浄化や汚濁の防止対策
- ・安全な生産基盤を拡大するための洪水被害の防止対策
- ・道路・港湾・下水処理場等の社会インフラ施設の整備
- ・取水施設や灌漑施設の整備、農地の改良
- ・耕作技術の向上や品種改良への支援

など、多くの分野で日本が有する優れた技術や経験が貢献できることは多々ある。

さらに、技術的な貢献を確実なものとして定着・発展させ、成果を上げるために必要不可欠、かつ、重要なことは「人材育成」である。日本は、この点についても多くの努力をしてきた実績があるが、効果は十分とは言えない面がある。この点については、中央大学が進めている「国際水環境理工学人財育成プログラム」の取り組みの発展が大きな役割を持っていることを申し添えたい。

世界への日本の技術的貢献は、日本自身の安全保障の観点からも有益であることは自明の理であるとともに、恵まれた国の使命でもあると思う。本研究の成果が日本の技術的貢献の実現や拡大の一助になってくれれば幸いである。

巻末参照－ 1

2000年～2009年の「水ストレス」と「期待灌漑農地単収」

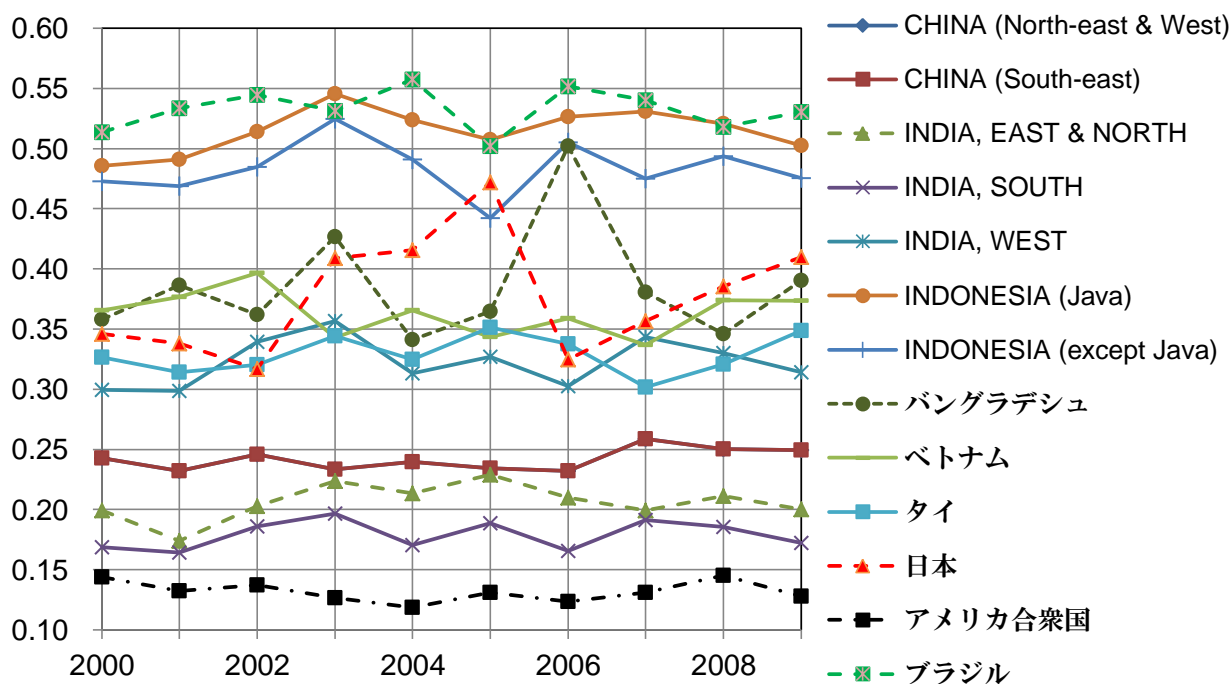
AQUASTAT 統計の 2000 年実績値の灌漑用水供給量、及び、「水資源賦存量」を補正した「天水量」と「蒸発散量」を使用して第 4 章で説明した推計方法で計算した主要国の「水ストレス」と「期待灌漑農地単収」を以下に示す。

参 1.1 米（水田）

参 1.1.1 天水ストレス

- ・ 中華人民共和国等の 3 国の地域ごとの違いは、一期作・二期作を含めた耕作期間の違いによるものである。なお、「CHINA(South-east)」には、隣接するベトナムの降雨パターンを適用している。
- ・ ブラジル、インドネシアが「0.5」と比較的高い値となっているが、「天水量」だけでは不十分であることを示している。
- ・ 日本を含む主要生産国は「0.3～0.4」、アメリカ合衆国は「0.10～0.15」と低い値となっている。

図 参 1.1 米(水田)の主要生産国の「天水ストレス」



参 1.1.2 灌漑用水ストレス

- 日本、ブラジル、アメリカ合衆国、インドネシアの灌漑農地は、灌漑によって「0.9」程度まで「水ストレス」が向上している。
- 他の主要生産国も灌漑によって「水ストレス」が向上しているが、十分といえるレベルには達していない。特に、CHINA(North-east)、バングラデシュ、タイの向上ポイントが小さく、供給される灌漑用水量が相対的に少ない。

図 参 1.2 米(水田)の主要生産国の「灌漑用水ストレス」

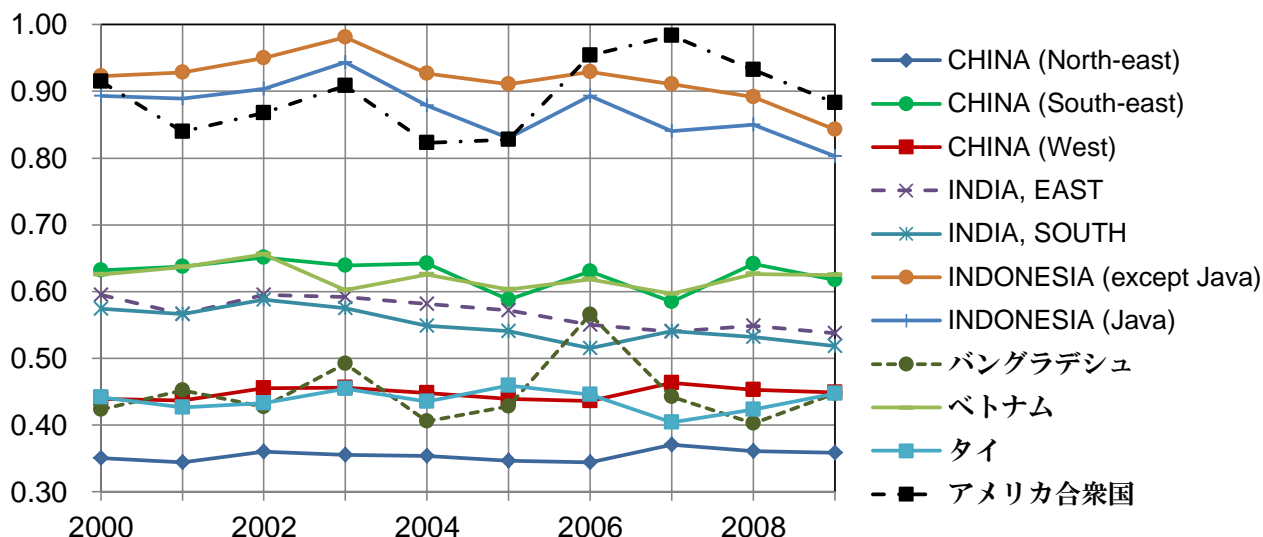


表 参 1.1 米(水田)の主要生産国の「灌漑用水ストレス」

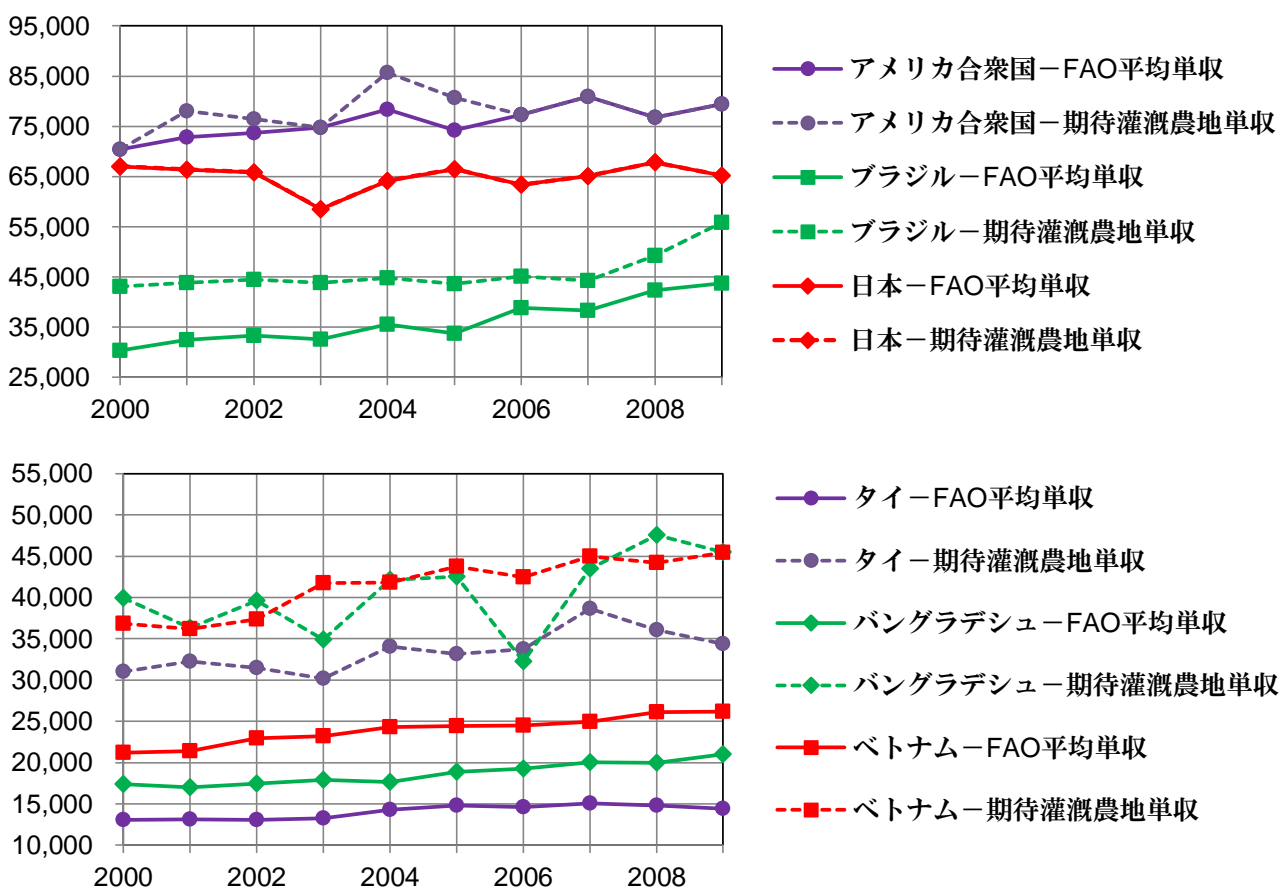
国名	2000年～2009年の平均値		
	天水ストレス	灌漑用水ストレス	灌漑による向上
CHINA (North-east)	0.24	0.35	0.11
CHINA (West)	0.36	0.63	0.27
CHINA (South-east)	0.24	0.45	0.21
INDIA, EAST	0.21	0.57	0.36
INDIA, NORTH	0.21	0.57	0.36
INDIA, SOUTH	0.18	0.55	0.37
INDIA, WEST	0.32	0.86	0.54
INDONESIA (Java)	0.51	0.92	0.40
INDONESIA (except Java)	0.48	0.87	0.39
バングラデシュ	0.39	0.45	0.06
ベトナム	0.36	0.62	0.26
タイ	0.33	0.44	0.11
日本	0.38	1.00	0.62
アメリカ合衆国	0.13	0.89	0.76
ブラジル	0.53	0.98	0.45

参 1.1.3 期待灌漑農地単収

- 日本は、耕作地の 100%が灌漑農地、かつ、「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」が完全に同じ値となっている。
- アメリカ合衆国は、耕作地の 100%が灌漑農地であるが、図 参 1.2 で「灌漑用水ストレス」が「0.9」未満になった 2001 年等で差異が生じている。
- 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差異が生じている。
- タイ等の FAO 平均単収は、二期作を考慮した値である。タイ等は、非灌漑面積の比率が大きいこと、及び、「灌漑用水ストレス」が「0.5」前後と小さいことにより、「期待灌漑農地単収」と「FAO 平均単収」とには大きな差異が生じている。インド、インドネシアも同様である。
- 中華人民共和国は、耕作地の 100%が灌漑農地であるが、「灌漑用水ストレス」が小さいことにより、「期待灌漑農地単収」と「FAO 平均単収」とには大きな差異が生じている。

図 参 1.3 米(水田)の主要生産国の「FAO 平均単収」と「期待灌漑農地単収」

(Hg/Ha)



参 1.2 小麦

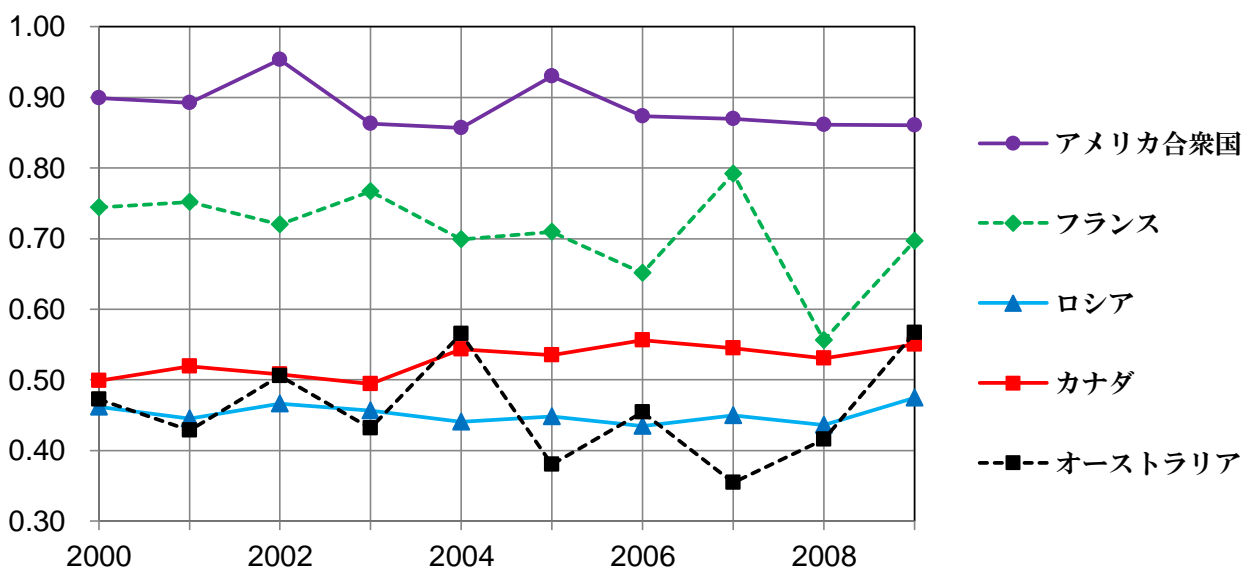
参 1.2.1 天水ストレスと灌漑用水ストレス

- ・ 中華人民共和国、インド、アメリカ合衆国の上位 3 か国は、「灌漑用水ストレス」が灌漑農地で 100%の生産が期待できる「0.9」を上回っている。
- ・ フランス等は、灌漑による「水ストレス」の向上値が小さく、「灌漑用水ストレス」もそれほど大きくなっていない。

表 参 1.2 小麦の主要生産国の「灌漑用水ストレス」

国名	2000 年～2009 年の平均値		
	天水ストレス	灌漑用水ストレス	灌漑による向上
CHINA (North-east)	0.32	0.86	0.54
CHINA (South-east)	0.51	0.96	0.45
CHINA (West)	0.32	0.91	0.59
INDIA, EAST	0.09	0.96	0.86
INDIA, NORTH	0.09	0.94	0.85
INDIA, SOUTH	0.10	1.00	0.90
INDIA, WEST	0.37	0.95	0.58
アメリカ合衆国	0.53	0.89	0.36
フランス	0.62	0.71	0.09
ロシア	0.39	0.45	0.06
カナダ	0.49	0.53	0.04
オーストラリア	0.31	0.46	0.15

図 参 1.4 小麦の主要生産国の「灌漑用水ストレス」

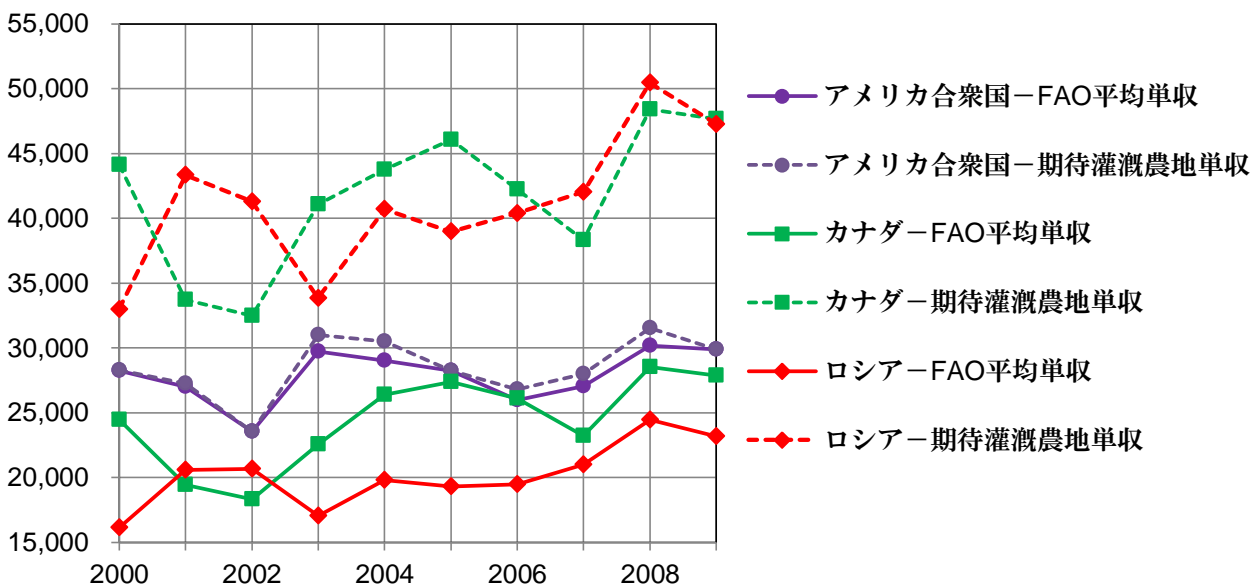
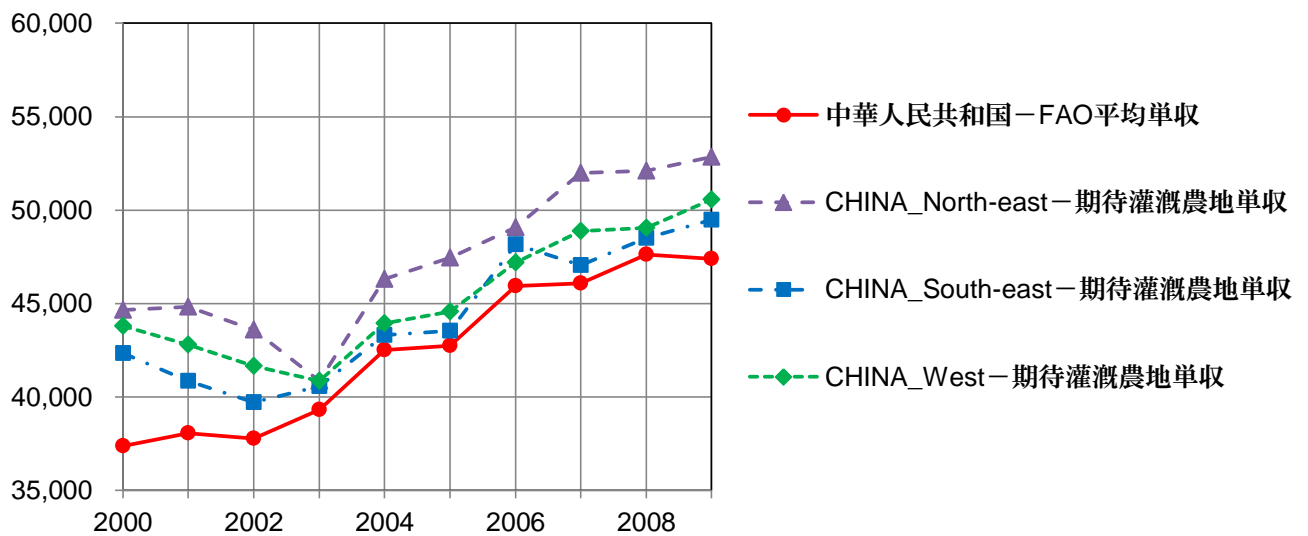


参 1.2.2 期待灌漑農地単収

- 中華人民共和国の「CHINA (South-east)」と「CHINA (West)」の単収の差異は、非灌漑農地があることによるものである。また、「CHINA (North-east)」の大きな差異は、非灌漑農地に加えて「灌漑用水ストレス」が「0.9」に達していないことによるものである。
- インドも、非灌漑農地があることによる差異が生じている。
- アメリカ合衆国は、「灌漑用水ストレス」が「0.9」に達していない年が「FAO平均単収」と「期待灌漑農地単収」とがわずかに異なっている。
- カナダ、ロシア等の大きな差異は、「灌漑用水ストレス」が低い値に留まっていることと非灌漑農地の存在によるものである。

図 参 1.5 小麦の主要生産国の「FAO平均単収」と「期待灌漑農地単収」

(Hg/Ha)



参 1.3 トウモロコシ

参 1.3.1 天水ストレスと灌漑用水ストレス

- 主要生産国の「灌漑用水ストレス」は、灌漑農地で 100%の生産が期待できる「0.9」を上回っているかそれに近い値となっている。
- メキシコとアルゼンチンは、2000 年～2009 年の全期間で「1.0」である。
- ブラジルの「灌漑用水ストレス」が、2005 年以降に低下したのは、灌漑農地面積が増加したことによるものと推察される。

表 参 1.3 トウモロコシの主要生産国の「灌漑用水ストレス」

国名	2000 年～2009 年の平均値		
	天水ストレス	灌漑用水ストレス	灌漑による向上
アメリカ合衆国	0.46	0.89	0.43
CHINA (North-east)	0.91	0.91	0.00
CHINA (South-east)	0.75	0.79	0.04
CHINA (West)	0.91	0.91	0.01
ブラジル	0.43	0.89	0.46
メキシコ	0.74	1.00	0.26
アルゼンチン	0.45	1.00	0.55

図 参 1.6 トウモロコシの主要生産国の「灌漑用水ストレス」

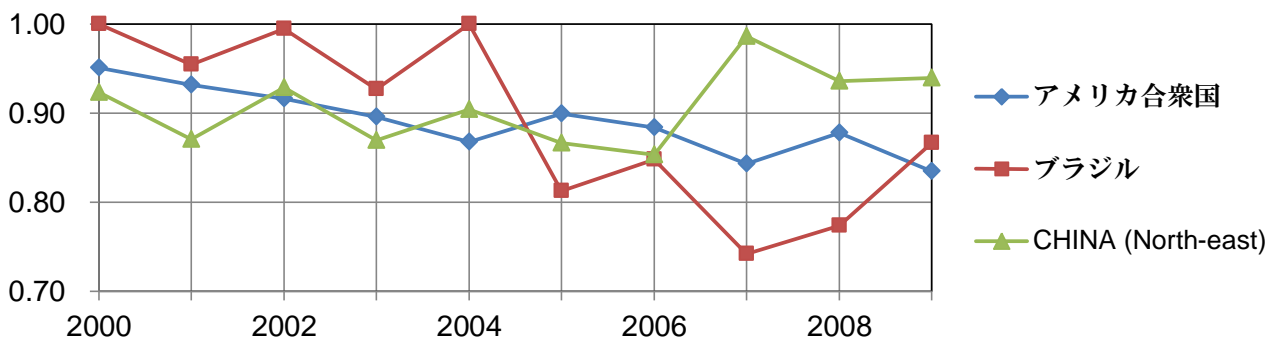
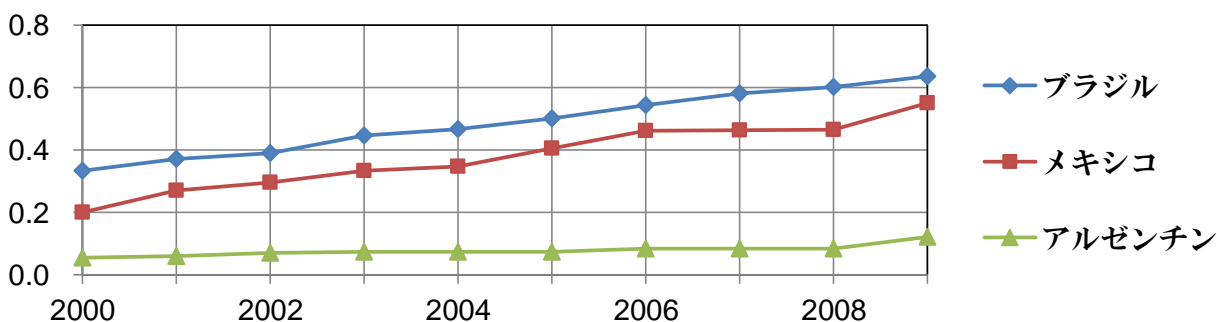


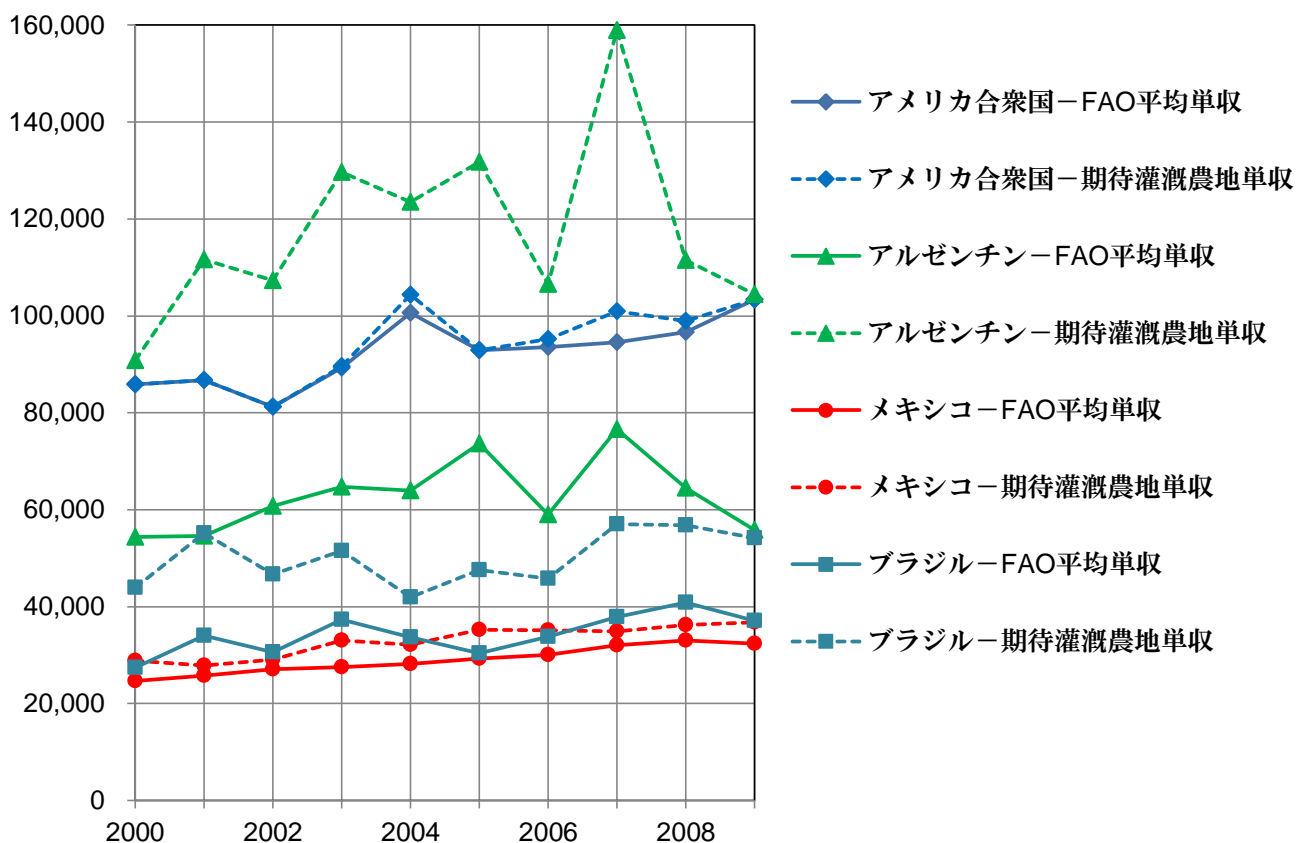
図 参 1.7 トウモロコシの灌漑農地面積比率の推移



参 1.3.2 期待灌漑農地単収

- アメリカ合衆国は、耕作地の 100%が灌漑農地、かつ、「灌漑用水ストレス」がほぼ「0.9」を超えているので、「FAO 平均単収」と「期待灌漑農地単収」がほぼ同じ値となっている。
- ブラジル、メキシコ、アルゼンチンの差異は、非灌漑面積によるものであるが、アルゼンチンの差異が大きいのは、非灌漑面積比率が大きいためである（図 参 1.7）。このことは、アルゼンチンの生産量は、「天水量」の多少に大きな影響を受けることを意味している。

図 参 1.8 トウモロコシの主要生産国の「FAO 平均単収」と「期待灌漑農地単収」
(Hg/Ha)



参 1.4 大豆

参 1.4.1 天水ストレスと灌漑用水ストレス

- ・ ブラジル、インド、中華人民共和国は、「天水ストレス」が「1.0」となっている。ちなみに、係数「 γ 」の値を「0.3」から「0.6」に変更してもこれらの国々の「天水ストレス」は「0.9」以上となる。

表 参 1.4 大豆の主要生産国の「灌漑用水ストレス」

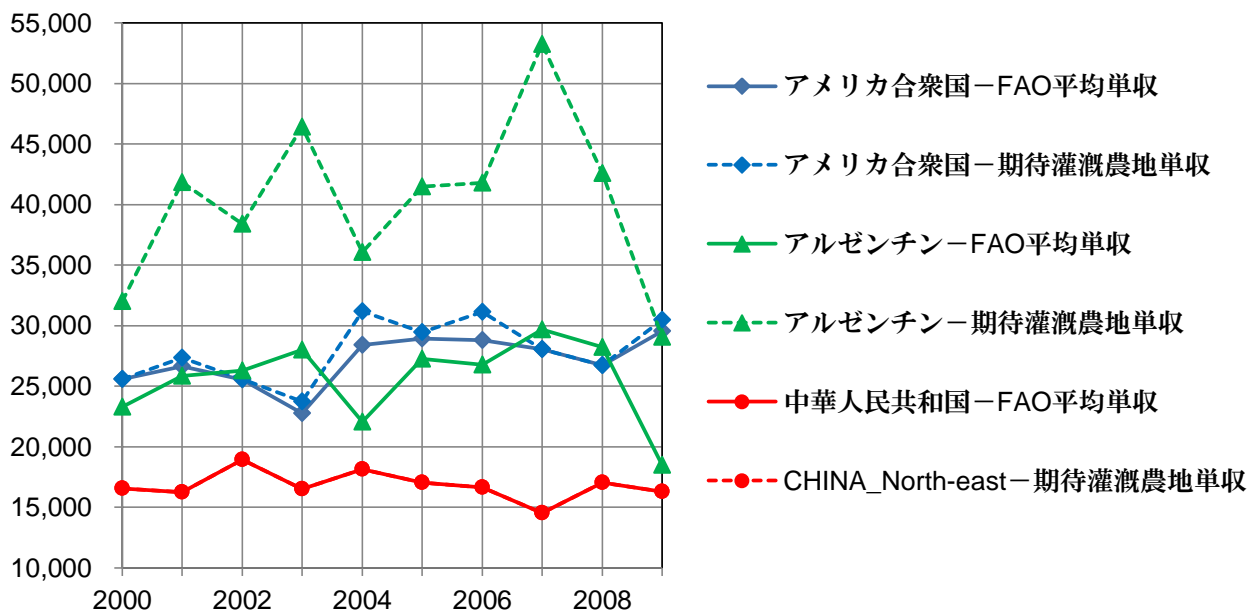
国名	2000年～2009年の平均値		
	天水ストレス	灌漑用水ストレス	灌漑による向上
アメリカ合衆国	0.48	0.88	0.40
ブラジル	1.00	1.00	0.00
アルゼンチン	0.50	0.79	0.29

参 1.3.2 期待灌漑農地単収

- ・ 「天水ストレス」が「1.0」となっているブラジル、インド、中華人民共和国は、「FAO 平均単収」と「期待灌漑農地単収」とが同じ値となっている。
- ・ アメリカ合衆国は、「灌漑用水ストレス」が「0.9」に達していない年が「FAO 平均単収」と「期待灌漑農地単収」とがわずかに異なっている。
- ・ アルゼンチンの差異が大きいのは、非灌漑面積比率が大きいためである。

図 参 1.9 大豆の主要生産国の「FAO 平均単収」と「期待灌漑農地単収」

(Hg/Ha)



巻末参照－ 2

主要農作物 4 品目の生産状況

参 2.1 生産量の推移

- ・ 穀物全体の生産量は、増加で推移している（図参 2.1）。
- ・ 品目別で見ると、米（水田）、小麦、トウモロコシは同じような割合で増加しているが、その他穀物は逆に減少傾向にある（図参 2.2）。
- ・ 一人当たりの消費量は、ほぼ一定幅の中（横ばい）で推移している（図参 2.3）。
- ・ このことは、人口の増加に呼応するように穀物の生産量が増加していると見ることができる。

図 参 2.1 全世界の穀物全体生産量の推移（1970 年～2007 年）



図 参 2.2 全世界の品目別生産量の推移（1970 年～2007 年）

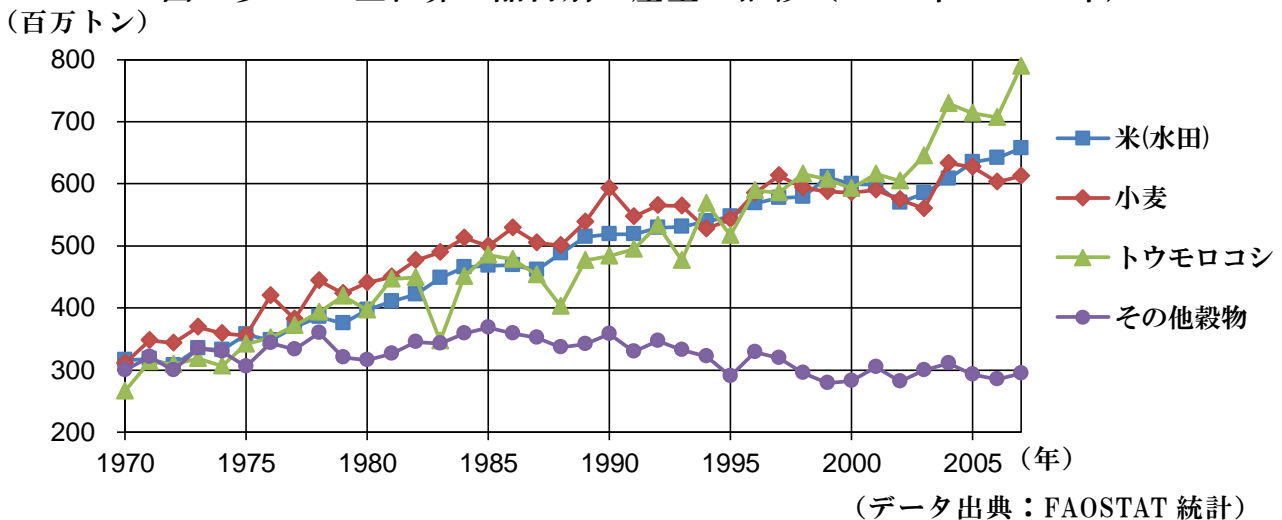
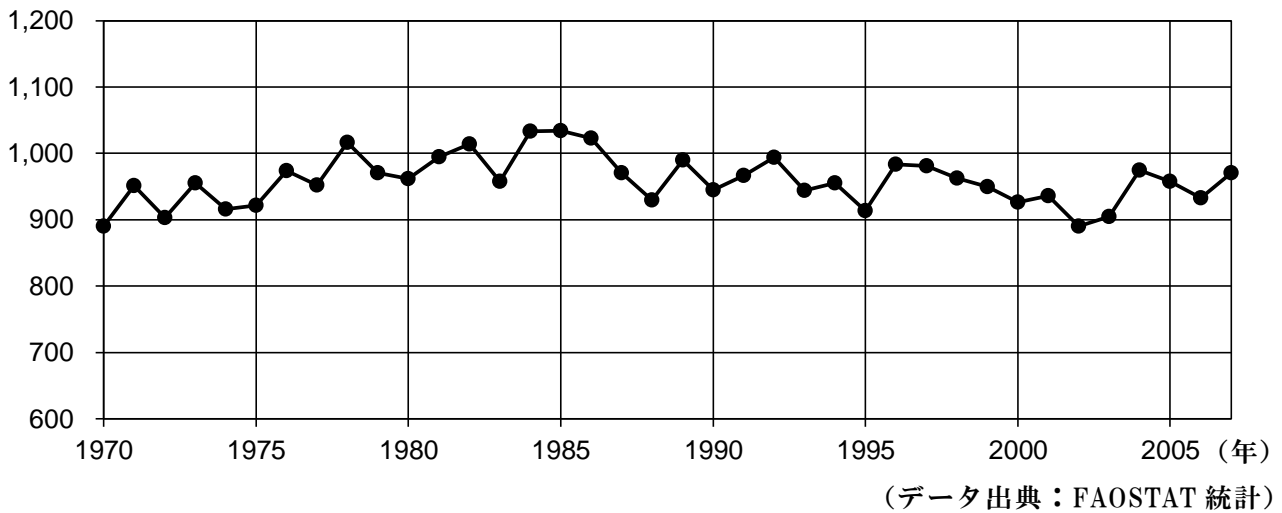


図 参 2.3 全世界の一人当たり穀物消費量の推移 (1970年～2007年)
(g/人/日)



参 2.2 作付面積の推移

- ・ 穀物全体の作付面積は、1980年頃から2000年にかけて減少傾向にあり、近年は増加傾向に転じているが1980年頃の水準には達していない(図参 2.4)。
- ・ 穀物全体の作付面積を地域別に見ると、増加傾向にあるのは、「東南アジア」と「アフリカ」で、特に「アフリカ」の増加量が大きい。中華人民共和国を主体する「東アジア」は、微減傾向にあったが近年増加傾向に転じている。一方、「北アメリカ」「旧ソ連邦」は、減少傾向にあったが、近年は横ばい傾向となっている。他の地域は、横ばい、ないしは、微減傾向となっている(図参 2.5)。
- ・ 上記を考え合わせると、生産量の増加は、単収の増加によってもたらされているとすることができる。

図 参 2.4 全世界の穀物作付面積全体の推移 (1970年～2007年)
(百万 ha)

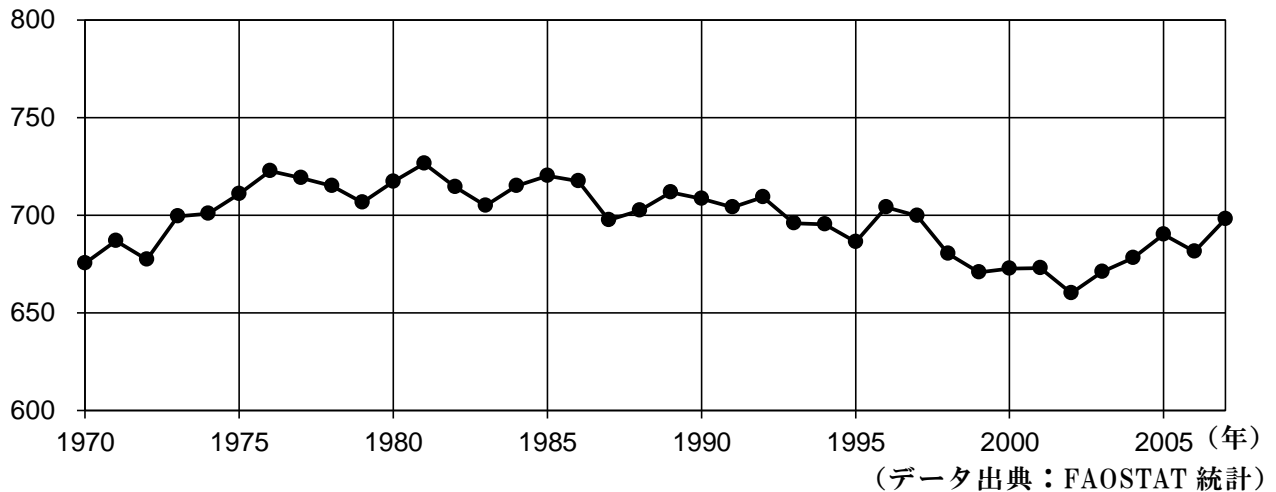
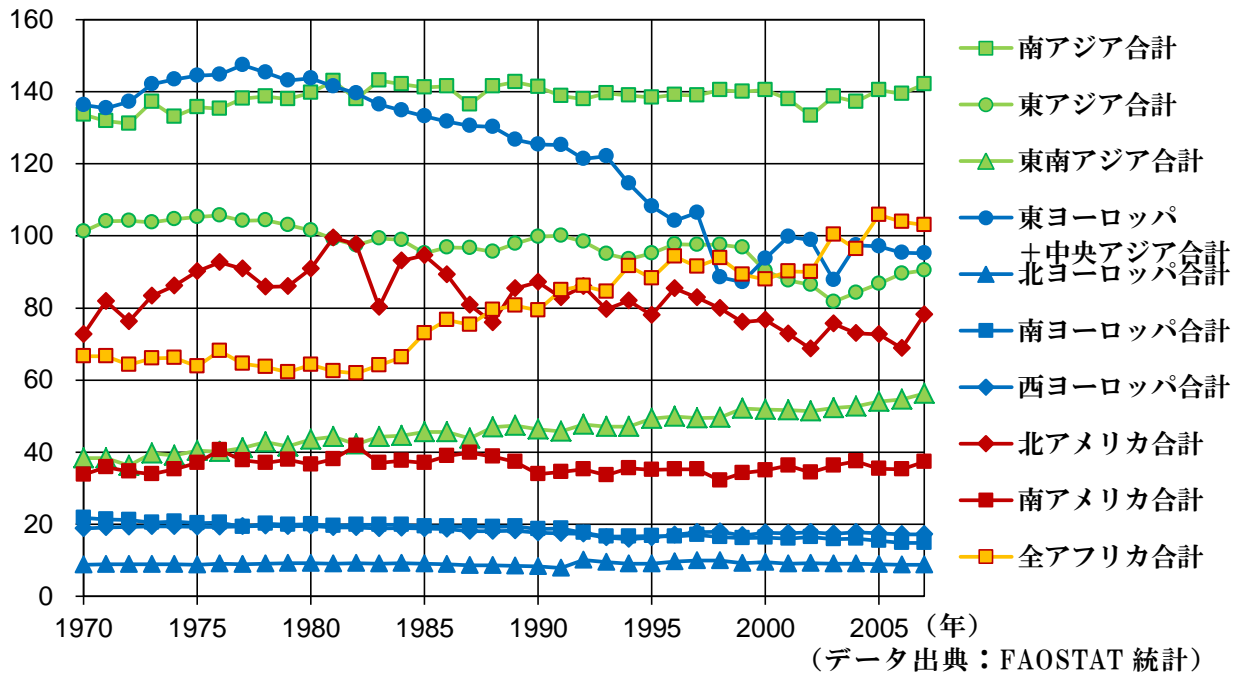


図 参 2.5 地域別の穀物作付面積全体の推移 (1970年～2007年)

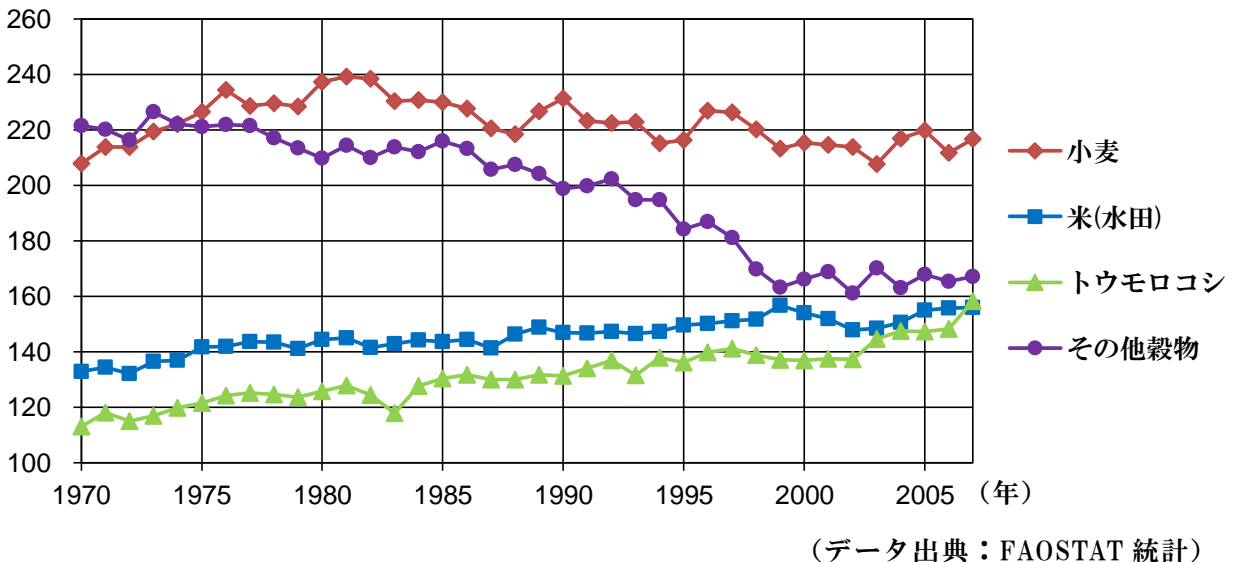
(百万 ha)



- ・ 全世界の作付面積の品目別の推移は、小麦がほぼ横ばい、米は微増、トウモロコシが増加している。その他穀物は減少を続けていたが、近年はほぼ横ばいとなっている(図参 2.6)。
- ・ これを 2007 年と 1990 年を比較した数字で見ると、米 (水田)：9 百万 ha の増加、トウモロコシ：27 百万 ha の増加、その他穀物：3 2 百万 ha の減少となっている。
- ・ 全世界の穀物作付面積の推移の傾向と合わせて考えると、その他穀物が米 (水田) とトウモロコシに転換しているとも見られる。

図 参 2.6 農作物品目別の作付面積の推移 (1970年～2007年)

(百万 ha)



参 2.3 米（水田）の生産状況

FAOSTAT 統計によると、2000 年に米を生産している国は、本研究の対象 166 か国中 110 か国となっている。生産量の上位 15 か国は、表参 2.1 のとおりであるが、この 15 か国で全世界合計の 92.6%の比率となっている。

表 参 2.1 2000 年 米(水田)生産量 上位 15 か国

(データ出典：FAOSTAT 統計)

順位	国名	生産量 (百万トン)	対全世界 比率(%)	国内消費量 (百万トン)	生産余剰量 (百万トン)
1	中華人民共和国	189.8	31.7	192.9	-3.1
2	インド	127.5	21.3	123.7	3.8
3	インドネシア	51.9	8.7	54.1	-2.2
4	バングラデシュ	37.6	6.3	35.4	2.2
5	ベトナム	32.5	5.4	25.0	7.5
6	タイ	25.8	4.3	15.5	10.3
7	ミャンマー	21.3	3.6	19.6	1.7
8	フィリピン	12.4	2.1	13.2	-0.8
9	日本	11.9	2.0	12.4	-0.5
10	ブラジル	11.1	1.9	12.0	-0.9
11	アメリカ合衆国	8.7	1.4	5.5	3.2
12	パキスタン	7.2	1.2	3.3	3.9
13	大韓民国	7.2	1.2	6.6	0.6
14	エジプト	6.0	1.0	4.8	1.2
15	ネパール	4.2	0.7	4.0	0.2
	合計	555.1	92.6	528.0	27.1

参 2.4 小麦の生産状況

生産量の上位 20 か国は、表参 2.4 のとおりであるが、この 15 か国で全世界合計のうちの 89.0%の比率となっている。

表 参 2.2 2000 年 小麦生産量 上位 15 か国

(データ出典：FAOSTAT 統計)

順位	国名	生産量 (百万トン)	対全世界 比率(%)	国内消費量 (百万トン)	生産余剰量 (百万トン)
1	中華人民共和国	99.6	17.0	113.0	-13.3
2	インド	76.4	13.0	64.2	12.2
3	アメリカ合衆国	60.6	10.4	35.7	24.9
4	フランス	37.4	6.4	20.1	17.2
5	ロシア	34.5	5.9	37.3	-2.8
6	カナダ	26.5	4.5	7.5	19.0
7	オーストラリア	22.1	3.8	4.6	17.5
8	ドイツ	21.6	3.7	16.2	5.5
9	パキスタン	21.1	3.6	20.1	0.9
10	トルコ	21.0	3.6	18.8	2.2
11	イギリス	16.7	2.9	13.5	3.2
12	アルゼンチン	16.1	2.8	5.9	10.3
13	ウクライナ	10.2	1.7	10.8	-0.6
14	カザフスタン	9.1	1.5	4.9	4.1
15	ポーランド	8.5	1.5	9.4	-0.9
	合計	515.5	88.0	430.7	84.8

参2.5 トウモロコシの生産状況

生産量の上位15か国は、表参2.5のとおりであるが、この15か国で全世界合計のうちの86.4%の比率となっている。

トウモロコシは、アメリカ合衆国やアルゼンチンのように余剰を輸出している国もあれば、日本、中華人民共和国のように輸入が多い国もある。

ちなみに、2009年の全世界のトウモロコシ貿易取引総量は、95.3（百万トン）、主要な輸入国は、日本16.2（百万トン）、大韓民国7.3（百万トン）である。

表 参2.3 2000年 トウモロコシ生産量 上位15か国

（データ出典：FAOSTAT 統計）

順位	国名	生産量 (百万トン)	対全世界 比率(%)	国内消費量 (百万トン)	生産余剰量 (百万トン)
1	アメリカ合衆国	251.9	42.5	197.9	54.0
2	中華人民共和国	106.2	17.9	123.1	-16.9
3	ブラジル	31.9	5.4	33.6	-1.7
4	メキシコ	17.6	3.0	21.9	-4.4
5	アルゼンチン	16.8	2.8	4.9	11.9
6	フランス	16.0	2.7	7.8	8.2
7	インド	12.0	2.0	12.1	-0.0
8	南アフリカ	11.4	1.9	9.1	2.4
9	イタリア	10.1	1.7	9.9	0.2
10	インドネシア	9.7	1.6	10.9	-1.3
11	カナダ	7.0	1.2	9.0	-2.1
12	エジプト	6.5	1.1	10.7	-4.2
13	ハンガリー	5.0	0.8	4.8	0.2
14	ルーマニア	4.9	0.8	7.8	-2.9
15	フィリピン	4.5	0.8	5.0	-0.5
	合計	511.4	86.4	468.5	42.9

参 2.6 大豆の生産状況

生産量の上位 15 か国は、表参 2.7 のとおりであるが、この 15 か国で全世界合計のうちの 98.6%の比率となっている。

ちなみに、2009 年の世界の貿易取引総量は、79.7（百万トン）であるが、このうち、中華人民共和国の輸入量は 45.0（百万トン）で 56.4%を占めている。トウモロコシの生産・輸入の動向と考えあわせると、中華人民共和国は、より需要の高いトウモロコシの生産を重視し、大豆は輸入で賄おうとしているように思われる。

表 参 2.4 2000 年 大豆生産量 上位 15 か国一覽表

(データ出典：FAOSTAT 統計)

順位	国名	生産量 (百万トン)	対全世界 比率(%)	輸出量 (百万トン)	対全世界 比率(%)
1	アメリカ合衆国	75.1	46.5	27.2	57.4
2	ブラジル	32.7	20.3	11.5	24.3
3	アルゼンチン	20.1	12.5	4.1	8.7
4	中華人民共和国	15.4	9.6	0.2	0.4
5	インド	5.3	3.3	0.1	0.2
6	パラグアイ	3.0	1.8	1.8	3.8
7	カナダ	2.7	1.7	0.8	1.6
8	ボリビア	1.2	0.7	0.2	0.5
9	インドネシア	1.0	0.6	0.0	0.0
10	イタリア	0.9	0.6	0.0	0.0
11	ナイジェリア	0.4	0.3	0.0	0.0
12	朝鮮民主主義人民共和国	0.4	0.2	0.0	0.0
13	ロシア	0.3	0.2	0.0	0.1
14	タイ	0.3	0.2	0.0	0.0
15	日本	0.2	0.1	0.0	0.0
	合計	159.0	98.6	45.9	97.0

巻末参照－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 3.1.1 主要3用途の世界合計用水使用量

AQUASTAT 統計には、「生活用水」、「工業用水」、「農業用水」の3用途の用水使用量が示されている。166か国の2000年の用水使用量は、以下のとおりである。

表 参 3.1 主要3用途の2000年用水量（全世界合計）

生活用水	工業用水	農業用水	合 計
3,963.4 億m ³	6,946.0 億m ³	25,777.3 億m ³	36,686.7 億m ³

（出典：AQUASTAT）

参 3.1.2 生活用水

国別では、先進国及び経済発展国の大国が上位を占めており、シェアは上位5か国で世界全体の約44%、上位10か国で57%となっている。

一方、一人当たりの用水量は、アメリカ合衆国以外は、人口の少ない国が上位にきている。日本は、27位となっている。

表 参 3.2 生活用水の用水使用量 上位10か国（2000年）

（単位：億m³/年）

国 名	地域区分・気候区分	経済発展区分	年間用水量
アメリカ合衆国	北アメリカ 温帯	先進国	639.5
インド	アジア 温帯	経済発展国	420.0
中華人民共和国	アジア 温帯	経済発展国	347.0
日本	アジア 温帯	先進国	174.0
ロシア	東ヨーロッパ 冷帯	経済発展国	134.0
インドネシア	アジア 熱帯	経済発展国	131.3
ブラジル	南アメリカ 熱帯	経済発展国	120.2
メキシコ	中央アメリカ 乾燥帯	経済発展国	96.0
イタリア	西ヨーロッパ 温帯	先進国	91.1
カナダ	北アメリカ 冷帯	先進国	89.9

（出典：AQUASTAT）

表 参 3.3 生活用水の一人当たり年間用水使用量 上位 5 か国 (2000 年)
(単位：m³ / (人・年))

国 名	地域区分・気候区分	経済発展区分	年間用水量
ブルネイ	アジア熱帯	農業国	360.9
カナダ	北アメリカ冷帯	先進国	293.0
アイスランド	西ヨーロッパ温帯	先進国	281.1
ニュージーランド	オセアニア温帯	先進国	263.7
アメリカ合衆国	北アメリカ温帯	先進国	222.2
日本	アジア温帯	先進国	137.3

(出典：AQUASTAT)

参 3.1.3 工業用水

国別では、生活用水と同様に、先進国及び経済発展国の大国が上位を占めており、シェアは上位 5 か国で世界全体の約 64%、上位 10 か国で 75%となっている。

一方、一人当たりの用水量は、アメリカ合衆国以外は、人口の少ない国が上位にきている。日本は、33 位となっている。

表 参 3.4 工業用水の年間用水使用量 上位 10 か国 (2000 年)
(単位：億m³/年)

国 名	地域区分・気候区分	経済発展区分	年間用水量
アメリカ合衆国	北アメリカ温帯	先進国	2,130.0
中華人民共和国	アジア温帯	経済発展国	1,277.0
ロシア	東ヨーロッパ冷帯	経済発展国	396.0
ドイツ	西ヨーロッパ温帯	先進国	326.0
カナダ	北アメリカ冷帯	先進国	315.7
フランス	西ヨーロッパ温帯	先進国	219.7
イタリア	西ヨーロッパ温帯	先進国	162.9
日本	アジア温帯	先進国	158.0
ウクライナ	東ヨーロッパ冷帯	経済発展国	139.9
ブラジル	南アメリカ熱帯	経済発展国	115.0

(出典：AQUASTAT)

表 参 3.5 工業用水の一人当たり年間用水使用量 上位 5 か国 (2000 年)
(単位：m³ / (人・年))

国 名	地域区分・気候区分	経済発展区分	年間用水量
カナダ	北アメリカ 冷帯	先進国	1,028.8
エストニア	東ヨーロッパ 冷帯	農業国	988.8
アメリカ合衆国	北アメリカ 温帯	先進国	740.0
ベルギー	西ヨーロッパ 温帯	先進国	662.8
オランダ	西ヨーロッパ 温帯	先進国	474.9
日本	アジア 温帯	先進国	124.7

(出典：AQUASTAT)

参 3.1.4 農業用水

国別では、インド、中華人民共和国、アメリカ合衆国といった人口の多い大国が上位を占めているが、アジア地域の国が多い。シェアは上位 5 か国で世界全体の約 54%、上位 10 か国で 67%となっている。

一人当たりの取水量では、トルクメニスタンなどの中央アジアの 3 か国が上位に入っているが、この 3 か国は、アラル海、カスピ海からの取水により深刻な水問題を抱えている国々である。

表 参 3.6 農業用水の年間用水使用量 上位 10 か国 (2000 年)
(単位：億 m³ / 年)

国 名	地域区分・気候区分	経済発展区分	年間用水量
インド	アジア 温帯	経済発展国	5,584.0
中華人民共和国	アジア 温帯	経済発展国	3,828.5
アメリカ合衆国	北アメリカ 温帯	先進国	1,965.0
パキスタン	アジア 乾燥帯	農業国	1,627.0
インドネシア	アジア 熱帯	経済発展国	927.6
イラン	中近東 乾燥帯	産油国	837.5
ベトナム	アジア 温帯	農業国	675.0
フィリピン	アジア 熱帯	農業国	655.9
エジプト	アフリカ 乾燥帯	農業国	590.0
日本	アジア 温帯	先進国	568.4

(出典：AQUASTAT)

表 参 3.7 農業用水の一人当たり年間用水使用量 上位 5 か国 (2000 年)
(単位：m³ / (人・年))

国 名	地域区分・気候区分	経済発展区分	年間用水量
トルキメニスタン	ア ジ ア 乾燥帯	ア ジ ア	5,340.2
ウズベキスタン	ア ジ ア 乾燥帯	ア ジ ア	2,211.0
ガ イ ア ナ	南アメリカ 熱 帯	南アメリカ	2,115.7
イ ラ ク	中 近 東 乾燥帯	産 油 国	2,109.3
キルギスタン	ア ジ ア 乾燥帯	ア ジ ア	1,907.2

(出典：AQUASTAT)

参 3.2 地下水

参 3.2.1 取水量

地下水の取水量に関する AQUASTAT のデータ数は、1990 年～2008 年を取っても 84 か国と少ないため、「水の世界地図 (The Atlas of WATER, Robin Clarke and Jannel King 著)」のデータで補完した。

全世界 (100 か国) の合計の地下水からの取水量は、8,407.1 億 m³/年で主要 3 用途の年間用水使用量の約 23% を占める大きな量となっている。

国別では、インド、中華人民共和国、アメリカ合衆国といった人口の多い大国が上位を占めているが、地下水の取水困難などの問題を抱えている国もある。

シェアは上位 5 か国で世界全体の約 65%、上位 10 か国で 77% となっている。

表 参 3.8 「AQUASTAT」と「水の世界地図」の上位 10 か国の地下水取水量の比較
(単位：億 m³/年)

国 名	AQUASTAT (データ数 84 か国)		水の世界地図 (データ数 80 か国)	
	データ年	取 水 量	データ年	取 水 量
イ ン ド	2000	2,167.0	2000	2,325.0
アメリカ合衆国	2000	1,136.0	2000	1,243.5
中華人民共和国	2000	954.0	2000	585.0
パキスタン	2008	616.0		
イ ラ ン	2004	531.0	2000	494.4
バングラデシュ	2008	284.8	2000	138.0
メキシコ	2002	257.0	2000	273.7
サウジアラビア	2006	215.4	2000	187.1
インドネシア	2000	176.1	2000	82.4
日 本	1997	157.7	2000	128.0

【注】 日本における地下水取水は、2000年以降ほぼ横ばいの状況にあり、その内訳比率は以下のとおりである。

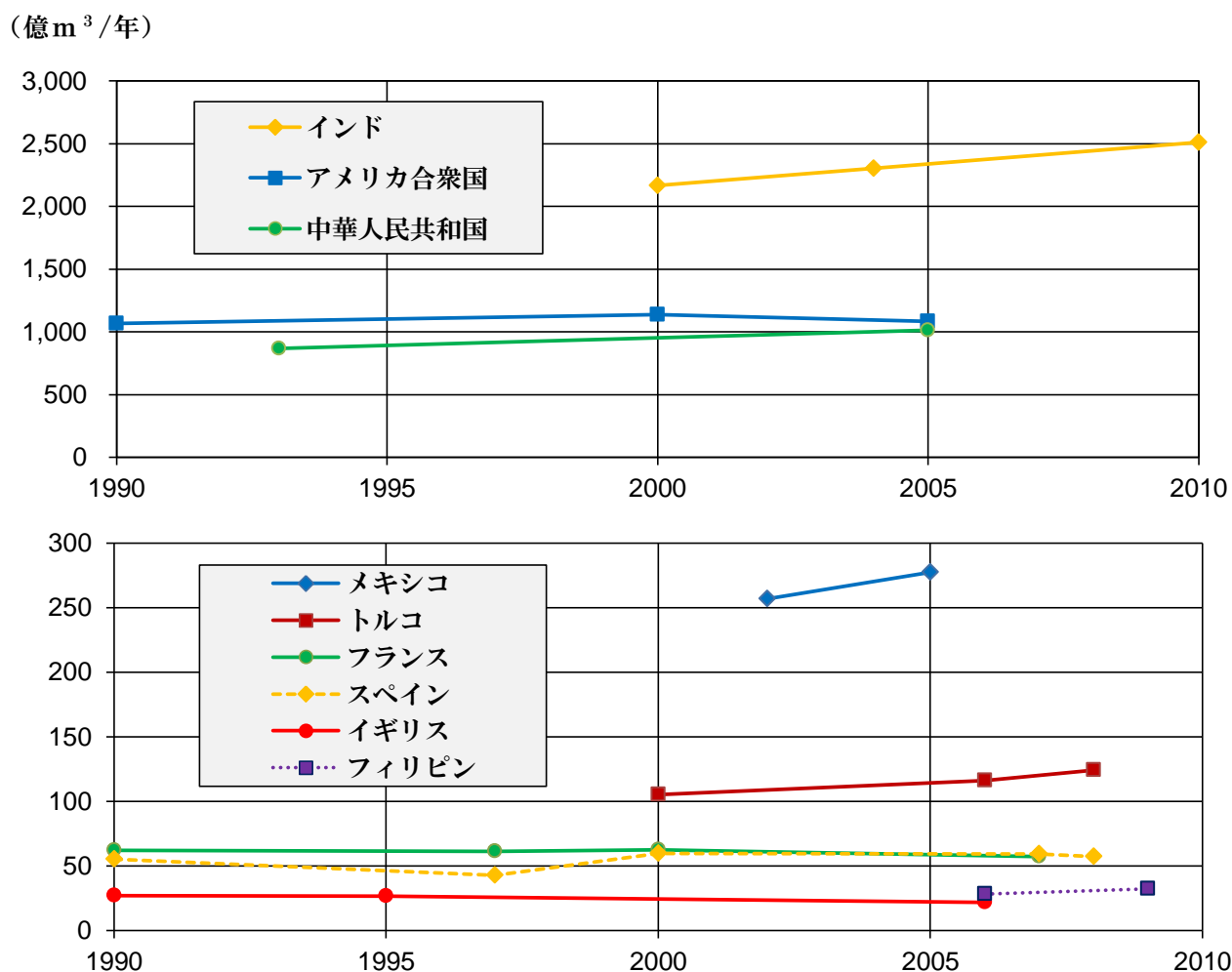
表 参 3.9 日本における 2007 年の地下水取水の内訳

生活用水	工業用水	農業用水
32.9 %	35.1 %	32.0 %

参 3.2.2 取水量の経年変化

- ・ 先進国は、近年では減少傾向にある。
- ・ データ数が少ないので傾向値を見出すことは困難であるが、経済発展国と一部の農業国は、平均で年率 1.8%程度の増加傾向を示しているが、インド、中華人民共和国では地下水位の低下等の取水困難が生じているとの報告がある。

図 参 3.1 主要国の地下水取水量の経年変化



参 3.3 表流水

参 3.3.1 取水量

表流水の取水量に関する AQUASTAT のデータ数は、1990 年～2008 年を取っても 70 か国と少ない。

一方、主要 3 用途の用水使用量は、表流水と地下水からの取水量の合計値とほぼ一致している。

そこで、2000 年の AQUASTAT 統計の表流水からの取水量を尊重しつつ、主要 3 用途の用水使用量から上記で設定した「地下水の取水量」を差し引いた値を表流水からの取水量に設定した。

全世界（166 か国）の合計の表流水からの取水量は、28,279.6 億 m^3 /年で主要 3 用途の年間用水使用量の約 77%、2000 年の水資源賦存量に対しては 5.3%となっている。

国別では、インド、中華人民共和国、アメリカ合衆国といった人口の多い大国が上位を占めているが、アジアの国々が多いことも特徴の一つである。

シェアは上位 5 か国で世界全体の約 50%、上位 10 か国で 62%となっている。

表 参 3.10 表流水からの取水量 上位 10 か国

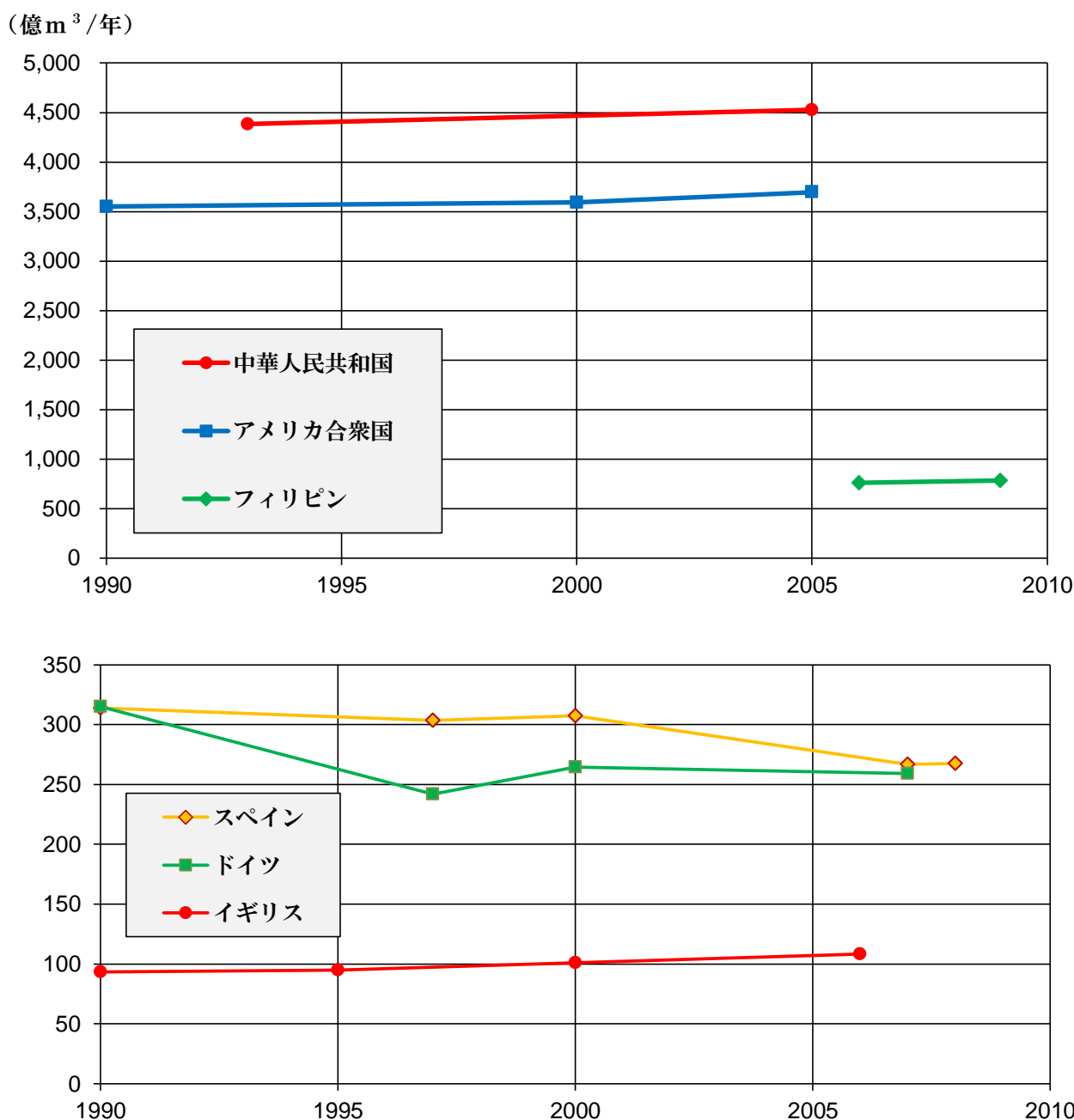
(単位：億 m^3 /年)

国名	地域区分・気候区分	経済発展区分	年間取水量
中華人民共和国	アジア 温帯	経済発展国	4,467.0
インド	アジア 温帯	経済発展国	3,937.0
アメリカ合衆国	北アメリカ 温帯	先進国	3,592.0
パキスタン	アジア 乾燥帯	農業国	1,109.6
インドネシア	アジア 熱帯	経済発展国	956.8
日本	アジア 温帯	先進国	742.7
フィリピン	アジア 熱帯	農業国	710.7
ベトナム	アジア 温帯	農業国	704.1
イラク	中近東 乾燥帯	産油国	656.8
エジプト	アフリカ 乾燥帯	農業国	612.6

参 3.3.2 取水量の経年変化

- データ数が少ないので傾向値を見出すことは困難であるが、アメリカ合衆国と中華人民共和国は年率 0.4%（5年で2%）程度、フィリピンは年率 1.0%程度の増加傾向を示している。
- 先進国は、減少もしくは横ばい傾向を示している。

図 参 3.2 主要国の表流水取水量の経年変化



参 3.4 脱塩淡水化製造量

参 3.4.1 製造量

1995年～2002年のAQUASTATのデータによれば、海水の脱塩淡水化を行っている国は、64か国、製造量は、37.7億 m^3 /年である。

地下水からの取水量と比較すると0.5%以下の小さな量ではあるが、一人あたりの量で見ると、乾燥地帯の産油国や小さな島国にとっては重要な水資源になっている。

使用の用途としては、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思料される。

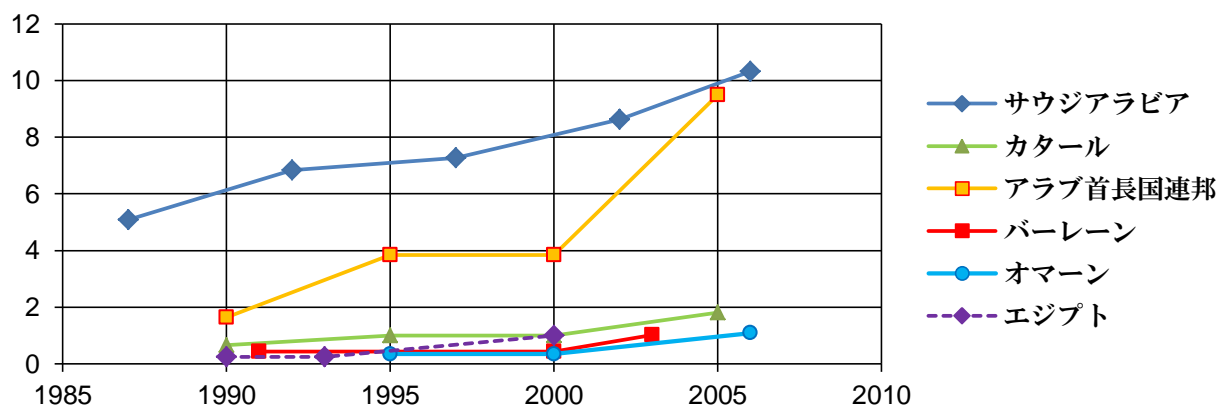
表 参 3.11 脱塩淡水化用水の一人当たり年間製造量 上位5か国
(単位： m^3 / (人・年))

国名	地域区分・気候区分	経済発展区分	年間製造量
クエート	中近東乾燥帯	産油国	188.6
カタール	中近東乾燥帯	産油国	160.5
アラブ首長国連邦	中近東乾燥帯	産油国	118.9
バーレーン	中近東乾燥帯	産油国	67.8
キプロス	中近東温帯	農業国	48.3

参 3.4.2 製造量の経年変化

先進国、経済発展国等多くの国では、横ばい傾向にある。このような傾向の中にあつて、乾燥地帯にあり、経済的に豊かな以下の6か国は増加を占めている。

図 参 3.3 脱塩淡水化製造量が増加している6か国の経年変化
(億 m^3 /年)



巻末参照－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

植物は太陽からの光エネルギーを利用し、水と炭酸ガスから炭水化物を生成する（光合成）。この炭水化物の化学的エネルギーがバイオエネルギーの源である。植物が捕食されたり、様々な製品の材料として用いられていく連鎖の過程で、このエネルギーは、様々な農産物や工業製品、さらには農業廃棄物、家畜の排泄物、廃材、生ゴミなどの中へと転移していく。このような、植物起源の有機資源をバイオマスと呼び、これらを利用するエネルギーがバイオエネルギーである。ただし、食料、木材、肥料など、エネルギーとしての利用が現実的でないものは、狭義のバイオマスには含まれない。

参 4.2 バイオマスの種類

表参4.1にバイオエネルギー源としてのバイオマスの分類を示す。バイオマスは、生産資源系（エネルギープランテーション系）バイオマスと未利用資源系（残渣系）バイオマスに分けられる。生産資源系バイオマスは主にエネルギー利用を目的として栽培する植物である。ブラジルで自動車燃料用エタノールの原料として栽培されるさとうきびはその典型である。一方、未利用資源系バイオマスは、農林水産業における未利用資源や加工残渣、都市ごみ中のバイオマスなどである。

未利用資源系バイオマスをエネルギー利用する場合には、エネルギーの発生に加え、廃棄物処分、環境保全などの効用が生じる。一方、生産資源系バイオマスの利用に関しては、他の土地利用形態との競合を考慮する必要がある。

表 参4.1 バイオマスの分類

分類項目		バイオマス資源例
生産資源系	陸域系	サトウキビ、てんさい、トウモロコシ、ナタ
	水域系	海藻類、微生物等
未利用資源系	農産系	稲わら、もみがら、麦わら、バガス*、野菜くず等
	畜産系	家畜糞尿、屠場残渣等
	林産系	林地残材、工場残廃材、建築廃材等
	水産系	水産加工残渣等
	都市廃棄物	家庭ごみ、下水汚泥等

※バガス：さとうきびの絞りかす

<http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt009j/feature2.html#3-0>

出典) 文部科学省 科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター

参 4.3 バイオ燃料導入に関する主要国動向

(1) アメリカ

- 2012年の75億ガロン(約28百万kl)の再生可能燃料使用義務付けに続き、2007年1月23日の年頭教書演説にてブッシュ大統領が2017年の350億ガロン(約132百万kl)のバイオ燃料導入を提言
- 2007年3月9日ブッシュ大統領はブラジルルーラ大統領とバイオ燃料生産拡大に関する米伯連携につき合意。

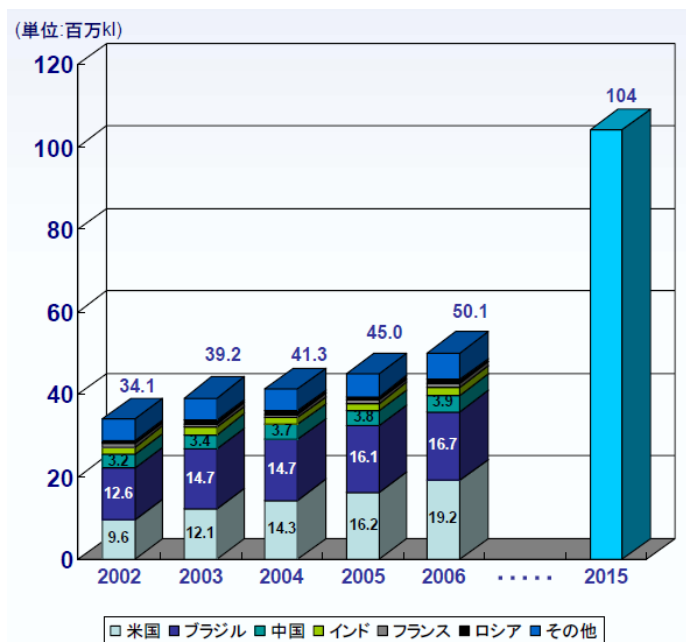
(2) ブラジル

- アメリカ合衆国とのバイオエタノールを中心としたバイオ燃料普及に向けた共同取組みに合意。
- 同国においてはFFV車販売が急増中（トヨタ、ホンダ、三菱自動車がFFV車販売を開始予定）。

(3) 欧州

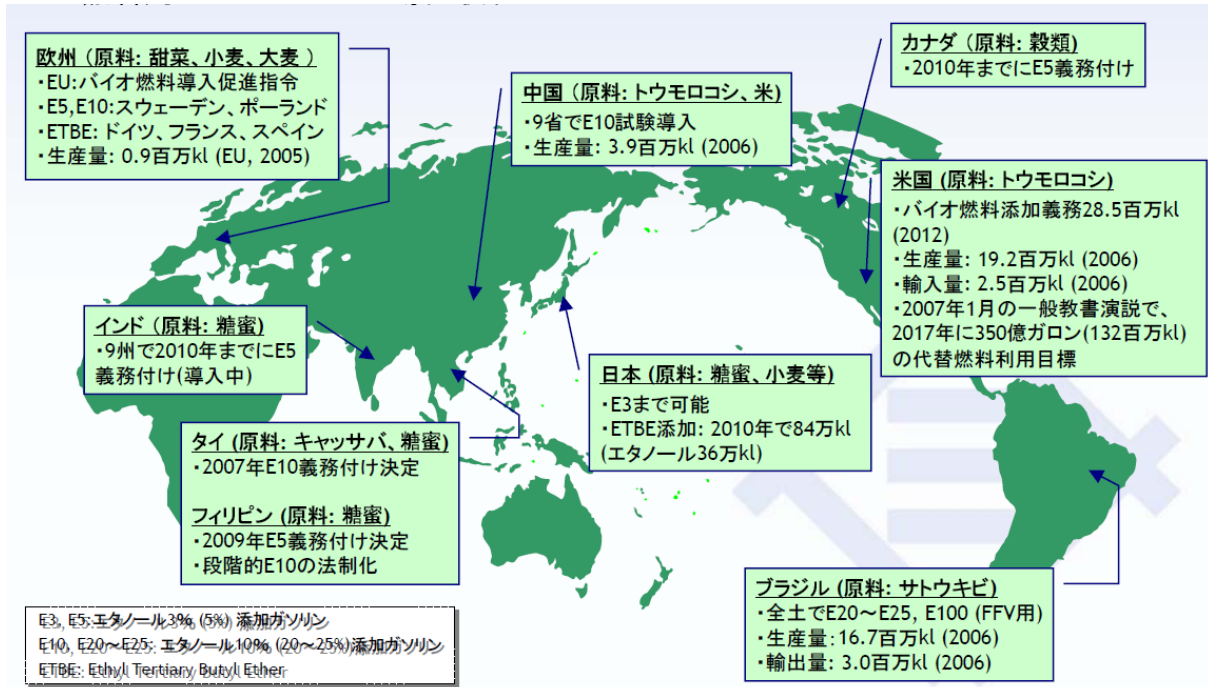
- 2010年5.75%（22百万kl）、2020年10%（38百万kl)のバイオ燃料比率達成が目標。
- 2007年3月9日EU首脳会議にて以下を提唱。
 - ・ CO2排出量削減目標：EU域内の2020年までに1990年比20%減。
先進国全体での2020年までに1990年比30%減。
 - ・ 再生可能エネルギー利用目標：EU域内利用率の2020年までの20%引き上げ（現在6.5%）。

図 参4.1 バイオエタノール生産量の実績と予測



出典) 世界のバイオ燃料利用の状況と今後の展開、2007年3月28日、
三井物産株式会社エネルギー本部新事業部

図 参4.2 世界の燃料用バイオエタノール導入状況



出典) 世界のバイオ燃料利用の状況と今後の展開、2007年3月28日、
 三井物産株式会社エネルギー本部新事業部

参4.4 ブラジルのバイオエタノール概況

(1) バイオエタノール生産量

- 中南部 (Sao Paulo St., Parana St.等) : 14.7百万kl (約88%)
- 東北部 (Alagoas St., Pernambuco St.等) : 2.0百万kl (約12%)
- 現在におけるエタノール製造の中心はSao Paulo州だが、今後はセラード地域等周辺の州にも拡大する傾向にある(セラード地帯は灌木草原地域で、ブラジル国土の204百万haを占める)
- 2006年でのエタノール製造工場: 333箇所
- 現在100件近くの新規プロジェクトが進行中
- 2010年でサトウキビの作付け面積は8.7百万ha、サトウキビで5億5千万トンの予想

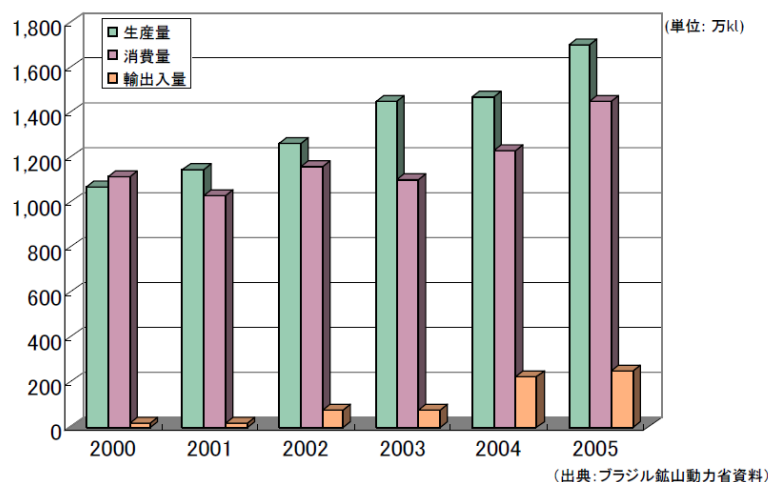
(2) エタノール混合割合

- 2006年3月にエタノール端境期による価格上昇を抑えるため25%→20%に変更
- 中南部のエタノール増産等による価格安定が見られ、2006年10月に20%→23%に変更

(3) Flexible Fuel Vehicle

- 2003年から販売開始
- 2005年の販売台数は約90万台で、2006年は小型車新車登録の80%以上がFFV

図 参4.3 ブラジルでのバイオエタノール生産・消費・輸出



出典) 世界のバイオ燃料利用の状況と今後の展開、2007年3月28日、
三井物産株式会社エネルギー本部新事業部

参4.5 アメリカ合衆国のバイオエタノール概況

(1) バイオエタノール生産量

- 2001年から5年で概ね倍増し、今後数年で更に倍増する勢い
- 急減なバイオエタノール生産に伴い、原料トウモロコシの価格上昇等弊害も顕在化
- 2006年でのエタノール製造工場: 約110工場
- 生産能力は現在53億gal/年(約19百万kl/年)だが2~3年後には60億gal/年(23百万kl/年)に増加する

(2) 見通し

- 2006年では全米トウモロコシ生産量の約20%(54.6百万ト)をバイオエタノール用に使用

(3) MTBE禁止措置

- 2006年現在、カリフォルニアなど25州が既に使用を禁止し、ペンシルベニア州など5州が禁止を検討中

<MTBE (メチル・ターシャリー・ブチルエーテル) >

MTBEは、現在日本でもハイオクタンガソリンの添加剤として使用されているエーテルの一種である。1990年の大気浄化法改正の際、ガソリンの清浄燃焼を促進するために、ガソリンに酸素を添加するよう求めたことから使用されている。

しかし、地下水や水源を汚染する可能性が指摘されていることから、MTBEを再生ガソリンから除去するよう議会に要請し、補助的措置として、有毒物質コントロール法に基づき、MTBEを規制すべく取組始めている。

参 4.6 欧州のバイオエタノール導入状況

(1) EU

- EUのバイオ燃料導入促進指令にて、混合割合を2010年で5.75%に(法的拘束力なし)。2005年の導入実績は1.5%で目標に達していない
- バイオ燃料のうちエタノールの占める割合は18.5%
- スペインやフランスを中心にエタノール製造。バイオエタノール原料は麦類が中心で、甜菜や粗悪ワインなど。

(2) ドイツ

- 2007年1月から揮発油税減免の優遇措置が撤廃され、バイオ燃料混合が義務化される。スペイン等では優遇措置は残るものの、今後はドイツ方式が拡大される見通し。
- ガソリンへのETBE混合が主体
- 麦類を中心に20万ト/年のバイオエタノールを製造(2005年)。2006年は倍増の見通し。

(3) スウェーデン

- EU内での最大のバイオエタノール消費国(29.6万ト,2005年)
- 一部の乗用車並びにバスでE10実施中

(4) フランス

- EU内でのバイオ燃料導入の主導的役割を担う。
- 甜菜や小麦を中心に10万kl/年のバイオエタノールを製造(2005年)。
- ガソリンへのETBE混合

参 4.7 アジアのバイオエタノール導入状況

(1) 中国

- 2002年からE10テスト事業が開始され、現在5省(河北省、山東省等)と27指定都市(4省)でE10実施中。中央政府として自動車用エタノール燃料の導入を積極的に推進
- 政府目標は、燃料用エタノール生産量を現状の1.02百万ト/年(1.28百万kl)から、2010年で3.25百万ト(4.06百万kl)に拡大
- 原料はトウモロコシが中心で、他に小麦、キャッサバ等

(2) タイ

- 2007年から予定のプレミアムガソリンへのE10義務化プログラム(人/日(MTBE使用は2006年まで)は実施延期。現在一部でE10販売中。2011年で全ガソリンへのE10義務化計画。
- 24のエタノール製造工場の許可が下りており、エタノールの輸出も検討中。
- 主な原料はキャッサバ、糖蜜

(3) フィリピン

- 「バイオ燃料法」制定。2009年1月までE5を義務付け、段階的にE10まで実施計画あり
- 主な原料はサトウキビで、国内でのエタノール製造を計画

(4) インドネシア

- 貧困・失業対策としての植物燃料開発のための国家チーム」結成(2006年7月)
- ジャカルタでE5販売開始(2006年12月)
- 主な原料はキャッサバ、サトウキビ

参 4.8 日本の燃料用バイオエタノール導入計画

(1) 石油連盟

- 2010年にETBE84万kl導入方針（エタノール所要量約36万kl）、2007年度から特定のSSに対し試験供給を開始。

(2) 政府関係

- 農林水産省
 - ・ 「バイオマスニッポン総合戦略推進会議」にて2030年に国産バイオ燃料600万kl生産を提言。
- 環境省はバイオエタノール導入に向けたロードマップを作成。
 - ・ 2010年: ETBEと直接添加(バイオエタノール使用量=80万kl/年)
 - ・ 2020年: ガソリン需要の2/3にETBEとE3を導入(190万kl/年)
 - ・ 2030年: E10を全面導入(380万kl)
- 経済産業省
 - ・ ETBE導入に関わるリスク評価目的に、平成19~20年度で18億円強の予算要求
 - ・ 一方、エタノール混合ガソリン(E3)の実証実験を実施し「一定の安全性が確認できた。」旨発表。

<ETBE (エチル・ターシャリー・ブチルエーテル) >

エチル・ターシャリー・ブチルエーテル(略号はETBE、化学式は $C_2H_5OC(CH_3)_3$)は、エタノール (C_2H_5OH) とイソブチレン($CH_2=C(CH_3)_2$)を反応させて合成される化合物で、オクタン価向上剤 (アンチノック剤) として自動車ガソリンに添加されるMTBEと類似した特性・用途をもつ。

卷末参照－5

農作物の将来生産量に関する代表的な予測モデル

予測モデルとしては、OECDの「AGLINK」モデル、OECDとFAOが共同して運用する「AGLINK－COSIMO」モデルが代表的なものとなっている。わが国では、農林水産省が平成23年度に構築したモデルがある。以下に、3つのモデルの特徴（長所）と短所（問題点）を示す。

参5.1 「AGLINK」モデル

参5.1.1 特徴（長所）

- ① 「AGLINK」は、OECDが加盟国の協力を得て1989年に開発を開始した大規模な農作物の需給モデルである。
- ② モデルの構造は、ある国のある年の農作物の生産量と需要量からその国の輸出入量を算出し、実際の国際的な取引を考慮した複数の仮想市場において輸出入量が均衡するところで農作物の取引価格が決定され、この取引価格が翌年度以降の生産量や需要量に影響を与えるという時系列動的均衡モデルである。
- ③ 仮想市場は、「完全な競争が行われる」という仮定が置かれているが、競争に影響を与える要因となる各国の人口、経済成長率、所得、物価、為替レート、原油価格、流通経費等の指標は農業から影響を受けないという前提に立っており、モデルの外で決定され与えられる外生変数となっている。
- ④ 各国の農業政策、すなわち、生産補助金、生産量割当、輸入制限、関税、輸出補助金、市場介入、GATT等の国際的な取決め事項など農作物の需給や市場取引に影響を与える重要な事項をモデルに組み込む努力が行われている。
- ⑤ これにより、世界経済の変動や各国の農業政策変更の影響を評価することが可能である。すなわち、「AGLINK」は後述するような“短所”を内包しているとしても、「シナリオ分析」ができる予測モデルであるという点が重要な意味を持っている。
- ⑥ 「AGLINK」を構成する方程式は、「生産量＝単収×作付面積」のように一義的に決定されるものと消費量や作付面積のようにパラメーターを介して消費者や生産者の市場価格に対する対応等を表現するものの2種類がある。
- ⑦ 生産量予測にとって重要な変数である「単収」は、干ばつや天候不順等がない平年作を用いてトレンドにより設定している。また、「作付面積」は、生産者が前年度までの価格情報を考慮して判断すると仮定している。同様に、家畜の飼育頭数は、生育期間が複数年となることから当該年及びそれ以前の価格を考慮して決定されると仮定している。

- ⑧ 肉類を大量に消費する国々では牛肉・豚肉・家禽の価格が主要な決定要因として考慮されるが、日本や中国では肉類の代替品として魚や大豆等の特定の穀物の価格も考慮した方程式となっている。
- ⑨ 「AGLINK」による予測は、まず OECD 事務局が加盟国の国内市場の動向や農業政策についてのアンケートにより基本的な情報を収集する。次に、この情報を用いた予測結果と加盟国のアンケート情報との間に齟齬がないかをいくつかの専門家会合で議論して必要な修正を加える。最終的には、加盟国全体会合を経て「予測値」が決定される。なお、この予測値は、「シナリオ分析」結果との比較基準となる意味合いから「ベースライン」と呼ばれている。
- ⑩ OECD では、最大 10 年程度先までの農作物の需給の予測に使用しており、1995 年からは「OECD Agricultural Outlook (OECD 農業見通し)」として公表している。

参 5.1.2 短所（問題点）

- ① 予測の対象国が OECD 加盟国と農作物生産量の多い一部の国々であり、主要農作物の世界全体の貿易取引量に占める割合は 80%~90% と大きいのが、発展途上国等大多数の国が入っていないことから、これらの国々への影響を分析することができない。
 - ・ 完全な予測モジュールが構築されている国・地域は、OECD 加盟国の米国、EU (25 か国)、日本、カナダ、オーストラリア、ニュージーランド、韓国、メキシコである。
 - ・ 非 OECD 諸国では、農作物生産量が多い中国、ロシア、ブラジル、アルゼンチンが予測対象国となっている。
 - ・ インド、タイ等は「米」だけが対象となっている。
 - ・ チリ、パラグアイ、ウルグアイは「牛肉」だけが対象となっている。
- ② 予測対象品目は主な温帯農作物であり、ココア、コーヒー、綿花などの熱帯産品を含んでいない。このため、これら産品の輸出に経済的が大きく依存している大多数の発展途上国等への影響を分析することができない。
 - ・ 穀物等：米、小麦、トウモロコシ、その他飼料穀物（大麦、ライ麦等）、油糧種子（大豆、菜種、ヒマワリ等）
 - ・ 畜産物：牛乳、乳製品、牛肉、豚肉、家禽、（羊肉、卵）
- ③ 農作物の品質や品種の違いによる価格差が考慮されておらず、一つの代表的な国際価格（例えば、米はタイの精米輸出価格）が用いられている。
- ④ 国際価格で作付面積が変動するのは、米国やブラジルなど一部の国々だけである。さらに、長期的には人口増加による需要量の増大に対して農作物の価格は上昇するものと考えられるが、適地や農業用水供給の問題もあり、実際には全耕作農地面積の増加量はそれ程多くはないと推察される。また、各国の農業政策も年々変化することは当然である。したがって、需給バランスと価格だけで長期予測を行うことには困難性と限界がある。

- ⑤ 農業用水の確保見通しや灌漑農地・灌漑設備の整備に関する項目がアンケートに含まれているのかもしれないが、最大の短所は、農作物生産量の推計式に「農業用水量」が考慮されていない点である。OECD 加盟国の大半を占める先進国は、人口の大幅な増加傾向にはなく、したがって、農作物生産量を増加させる圧力も小さい。しかし、人口が大幅に増加し農作物需要も大きくなると予想される経済発展国や発展途上国の多くの国では、経済発展や都市化の進展によって都市用水・工業用水の需要が大きく増加していることから農業用水を増加させる余力が小さくなっており、農業用水が農作物生産の支配要因になることも想定される。加えて、気候変動による降雨量や降雨パターンの変化による農業生産への影響も懸念される。

<参考文献>

- 1) OECD Agricultural Outlook and Its Baseline Process using AGLINK model,
上林篤幸, OECD
(<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ces/sem.44/wp.7.e.pdf>)
- 2) Working Paper n.8 AGLIK:THE OECD PARTIAL EQUILIBRIUM MODEL,
September 2001, Piero Conforti and Pierluigi Londero,
The National Institute of Agricultural Economics, Roma, Italy

参 5.2 「AGLINK－COSIMO」モデル

参 5.2.1 特徴（長所）

- ① 「AGLINK－COSIMO」は、2005年にFAOのCOSIMOモデル（COMmodity SIMulation Model）が統合された全世界規模の主要農作物需給モデルである。これにより、予測の対象国が開発途上国にも拡大した。さらに、対象品目に熱帯産品である砂糖、綿花、コーヒーが加えられた。対象品目については、追加の努力が続けられている。
- ② 「COSIMO」のモデル構造や各種方程式、仮想市場の仮定、各国の人口等を外生変数として与える事、各国の農業政策を分析できる事、専門家による調整等基本的な事項は「AGLINK」と同様であるが、「COSIMO」は（発展途上国における各種データの整備や農業政策の面で不完全な場合が多いことからアンケートではなく）FAOSTATデータベースから抽出したデータとこれを用いた農作物生産量の中期予想を使用し、実績と予測がかい離した場合は実績に合うようにパラメーターを調整する。その後、2つのモデルが同時に解かれるようになっている。
- ③ 「COSIMO」は、「AGLINK」と同様に「シナリオ分析」ができる予測モデルであるという点が重要な意味を持っている。
- ④ 「AGLINK－COSIMO」モデルは、最大10年程度先までの農作物の需給の予測に使用されており、「OECD－FAO Agricultural Outlook」として公表されている。

参 5.2.2 短所（問題点）

- ① 「AGLINK-COSIMO」モデルの対象国が全世界規模に拡大したことと対象品目が増えたことは、「AGLINK」の問題点が改善されている。
- ② しかし、農作物生産量の推計式に「農業用水量」が考慮されていない点や長期予測に用いることに困難性と限界である点は「AGLINK」と同様である。

<参考文献>

- 1) THE COSIMO WORK PROGRAMME AT FAO, April 2005, COMMITTEE ON COMMODITY PROBLEMS Sixty-fifth Session, Rome, Italy
- 2) CAPRI versus AGLINK-COSIMO Two partial equilibrium model – Two baseline approaches, 12th Congress of the European Association of Agricultural Economists, 2008, Adenauer M, Institute for Food and Resource Economics, University of Bonn, Germany
- 3) OECD－FAO Agricultural Outlook 2012

参 5.3 平成 23 年度農林水産省モデル

参 5.3.1 特徴（長所）

- ① 本モデルは、将来にわたる人口や経済成長率、気候シナリオについて一定の前提を置き、農業生産者や消費者の経済活動をミクロ経済理論・市場価格メカニズムに基づく定式化を行った上で価格を媒介として各品目の需要と供給を世界全体で毎年一致させる「部分均衡分析モデル」であり、供給モデル、国際貿易モデル、需要モデルの大きく3つのモデルで構成されている。
- ② モデルの時系列構造については、需要モデルにおいては前期の需要量と価格を用いて選好パラメーターが更新される構造となっており、供給モデルのなかの土地利用モデルでは収穫面積が単収と前期の価格を用いて計算される構造となっている。このように、前期の価格、需要量を用いて、今期の供給、需要が出力される擬似的な動学構造になっている。
- ③ 本予測で対象としている品目は、穀物が小麦、米、とうもろこしなど5品目、さらに、大豆、菜種など4種の油糧種子、砂糖作物（サトウキビ、テンサイ）、いも（キャッサバ）と牛肉・豚肉・鶏肉・牛乳の4つの畜産物の計16品目となっている。
- ④ 予測に用いているデータがカバーしている国の数は、140か国となっている。予測に用いるための基準データがカバーしている範囲は、2000年時点の人口で99%超、対象品目の生産・消費についてFAOSTAT のデータでみた場合、ほとんどの品目で99%超をカバーしている。
- ⑤ 目標年次は2050年、基準年は直近の価格高騰前の2000年。超長期の予測をする観点から基準年の2000年のデータセットについては、FAOSTATにおける1999～2001年の3か年の平均値を用いている。
- ⑥ 人口とGDPは、外生変数として与える。本モデルでは、IPCCの気候変動影響分析に用いられているシナリオのうち、B2シナリオを用いている。
- ⑦ 農業生産性の見通しについては、現在の生産性の伸びなどが今後も継続することを想定している。
- ⑧ バイオ燃料需要については、2020年まではOECD-FAOのAgricultural Outlook 2011-2020 の見通しを用い、2020年以降の増分については第二世代のバイオ燃料が賄う設定となっている。
- ⑨ 供給モデルの生産量は、単収と収穫面積によって決定される。ここで収穫面積については生産者の利潤最大化行動を仮定して利潤が最大となるように作物別の収穫面積が決定される。気候変動は単収に影響を与え、単収が増加すると生産者の利潤増加につながるため単収増加率が高い作物の収穫面積が増加することとなる。

さらに、食料供給モデルは単収モデルと土地利用選択モデルから構成されるが、土地利用選択モデルは作物別の収穫面積（作付面積）を算出するものであり、生産者の利潤最大化行動から導出される。

また、単収モデルはFAOとIIASAが開発したGAEZモデルを基本としたモデルを用いており、将来の気候変動（気温や蒸発散量等）、生産性の伸び率、農業投資、灌漑率等の影響を考慮してメッシュ別（グリッドレベル $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ）に作付可否判定をしたうえで単収を算出するようになっている。

気候変動SRESシナリオとしては、経済・人口シナリオとして採用したB2シナリオに対する出力結果は公表されていないことから、二酸化炭素増加パターンが最もB2シナリオに似ているB1シナリオを利用することし、数ある気候モデルの出力結果の中から我が国の気候モデルの一つであるMIROCの出力結果を用いている。

- ⑩ 食用需要は、人口、所得(一人当りGDP)、食生活・食習慣および各食料価格から決定されるものとし、所得制約下の効用最大化問題から需要関数を導出している。関数としてはエンゲル曲線を考慮するための線形支出体系（LES）を用いている。
- ⑪ 飼料需要モデルは、畜産物市場を仮定し、畜産物生産の中間投入として飼料用需要を導出している。ここでは畜産物生産者が費用最小化行動に基づいて飼料投入を決定していくこととしている。
- ⑫ 貿易モデルについては、超長期において政治的な要因も絡んだ国際貿易構造を想定することが難しいため、多国間貿易モデルではなく世界単一市場で取引されると仮定した貿易モデルとなっている。

参 5.3.2 短所（問題点）

農林水産省のモデルは、農業投資、灌漑の考慮、気候変動による長期的な影響等を反映した優れたものであると評価できる。あえて短所（問題点）を指摘するとするならば、以下のとおりである。

- ① モデル構造に関する問題ではないが、経済（GDP）に関する IPCC の気候変動 SRES シナリオとして B2 シナリオを採用しているが、BRICs や ASEAN 等の経済発展の状況を勘案するに B2 シナリオの設定は経済規模がやや小さいかもしれない。A1 ないし B1 シナリオを採用した場合には、需要量が供給量を上回る状況が長期間続く可能性がある。

さらに、取引価格で作付面積が変動するのは、米国やブラジルなど一部の国々だけである。長期的には人口増加による需要量の増大に対して農作物の価格は上昇するものと考えられるが、適地や農業用水供給の問題もあり、実際には全耕作農地面積の増加量はそれ程多くはないと推察される。

参考文献とした農林水産省の報告書には作付面積の予測結果は示されていないが、生産者の利潤最大化行動だけで作付面積を変動させた場合のモデルの予測結果は、現実的にありえない作付面積になってしまうのではないか。需給バランスと価格だけで長期予測を行うことには限界や問題がある。

- ② 人口が大幅に増加し農作物需要も大きくなると予想される経済発展国や発展途上国の多くの国では、経済発展や都市化の進展によって都市用水・工業用水の需要が大きく増加していることから農業用水を増加させる余力が小さくなっており、農業用水が農作物生産の支配要因になることも想定される。

したがって、追加的水資源開発の想定、都市用水・工業用水の需要想定、これら用水と農業用水の配分、すなわち、“水シナリオ”を考慮・加味する必要があると思料する。

<参考文献>

平成 23 年度世界食料需給動向等総合調査・分析関係業分析結果報告書、
平成 24 年 3 月、農林水産省

— 図 目 次 —

第1章 本研究で構築した推計モデルの構成

図 1.1 本研究で構築した推計モデルの構成	1-7
------------------------	-----

第2章 本研究に使用した各種データ等

図 2.1 「地域区分」と「気候区分」	2-4
図 2.2 水資源賦存量の計算値（全世界合計）	2-5
図 2.3 GDP(current)－GNI(current)の関係（1990年－2008年）	2-6
図 2.4 GDP と GNI の推移（アメリカ合衆国、日本、イギリス）	2-7
図 2.5 GDP(current US\$)－GDP(PPP)の関係（1990年－2007年）	2-8
図 2.6 世界全体の CIESIN 「GDP」 将来予測値の推移	2-9
図 2.7 CIESIN 「GDP」 将来予測値と実績値(1990US\$MEX)との比較	2-10
図 2.8 世界全体の CIESIN 「人口」 将来予測値の推移	2-13
図 2.9 CIESIN 「人口」 将来予測値と実績値との比較	2-15

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

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」	3-4
図 3.2 年間降水量（1990年～2000年平均値）の相関図	3-6
図 3.3 収穫量と「水ストレス」の関係	3-8
図 3.4 農作物品目別の作付面積の推移（1970年～2007年）	3-10
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）	3-11
図 3.6 作付面積と GDP（1990年 US\$換算）と関係（1970年～2007年）	3-12
図 3.7 中華人民共和国の「作付面積」の経年推移	3-12
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）	3-13
図 3.9 アメリカ合衆国の「作付面積」の経年推移	3-13
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）	3-15
図 3.11 小麦「作付面積」上位国の経年推移	3-16
図 3.12 小麦の「灌漑面積・非灌漑面積」の推計結果（世界合計）	3-17
図 3.13 トウモロコシ「作付面積」上位国の経年推移	3-17
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）	3-18
図 3.15 大豆「作付面積」の経年推移	3-19
図 3.16 大豆の「灌漑面積・非灌漑面積」の推計結果（世界合計）	3-19
図 3.17 米（水田）「平均単収」の経年推移－日本等	3-20
図 3.18 米（水田）「平均単収」の経年推移－東南アジア等	3-21

図 3.19	米（水田）「平均単収」の経年推移－中近東等	3-21
図 3.20	米（水田）「平均単収」の経年推移－西ヨーロッパ	3-22
図 3.21	米（水田）「平均単収」の経年推移－中央・南アメリカ	3-22
図 3.22	米（水田）「平均単収」の経年推移－アフリカ	3-23
図 3.23	小麦「平均単収」の経年推移	3-24
図 3.24	トウモロコシ「平均単収」の経年推移	3-25
図 3.25	大豆「平均単収」の経年推移	3-26

第4章 主要農作物4品目の将来需要量

図 4.1	主要農作物4品目の生産量推移（1970年～2007年）	4- 1
図 4.2	米（水田）の用途別内訳（1970年～2003年）	4- 1
図 4.3	小麦の用途別内訳（1970年～2003年）	4- 2
図 4.4	トウモロコシの用途別内訳（1970年～2003年）	4- 3
図 4.5	大豆の用途別内訳（1970年～2003年）	4- 3
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	4- 4
図 4.7	主要食品別一人当たり消費カロリーの推移	4- 5
図 4.7	食用米（水田）消費量の地域別推移（1970年～2007年）	4- 6
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	4- 6
図 4.9	米を主食とする中央・南アメリカの「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	4- 7
図 4.10	米を主食とするアフリカ西部地域の「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	4- 7
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	4- 8
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	4- 8
図 4.13	食用小麦消費量の地域別推移（1970年～2007年）	4-10
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）	4-10
図 4.15	「食用トウモロコシ」消費量の地域別推移（1970年～2007年）	4-12
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）	4-12
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）	4-14
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	4-15
図 4.19	「飼料用トウモロコシ」消費量の推移（1970年～2007年）	4-16
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	4-16

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	4-18
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	4-19
図 4.23	2000 年 全食料消費カロリー-食品品目別内訳	4-20
図 4.24	「いも類」消費量の地域別推移 (1970 年~2007 年)	4-23
図 4.25	「植物性油」消費量の地域別推移 (1970 年~2007 年)	4-24
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	4-25
図 4.27	「牛肉」消費量の地域別推移 (1970 年~2007 年)	4-26
図 4.28	「豚肉」消費量の地域別推移 (1970 年~2007 年)	4-27
図 4.29	「家禽」消費量の地域別推移 (1970 年~2007 年)	4-28
図 4.30	「牛乳(除くバター)」消費量の地域別推移 (1970 年~2007 年)	4-29
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	4-30
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)	4-31
図 4.33	主な国の推計消費カロリー	4-32
図 4.34	「CIESIN A1 シナリオ」の人口及び一人当たり GDP の推計値	4-35
図 4.35	食用米 (水田) の全世界需要量推計値	4-35
図 4.36	植物性油一人当たり消費量の推計値	4-36
図 4.37	主要肉類 3 品目の一人当たり消費量の推計値	4-36
図 4.38	小麦の全世界需要量推計値	4-37
図 4.39	トウモロコシの全世界需要量推計値	4-37
図 4.40	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

図 5.1	一人当たりの「GDP」と「生活用水量」との関係 (1990 年)	5- 1
図 5.2	生活用水の将来水需要量の推計フロー	5- 2
図 5.3	「先進国、経済発展国、東ヨーロッパ、産油国」の関係式	5- 3
図 5.4	「アジア・中近東」の関係式	5- 3
図 5.5	「中央・南アメリカ」の関係式	5- 4
図 5.6	「アフリカ」の関係式	5- 4
図 5.7	生活用水需要量推計の 4 つの関係式	5- 5
図 5.8	一人当たり生活用水の推計結果	5- 6
図 5.9	「生活用水」推計需要量の世界合計	5- 6
図 5.10	主要国の「生活用水」推計需要量	5- 7
図 5.11	工業用水の将来水需要量の推計フロー	5- 9
図 5.12	アメリカ合衆国、中華人民共和国、インドの工業用水量	5-10

図 5.13	先進国の工業用水取水量	5-10
図 5.14	東ヨーロッパ諸国の工業用水取水量	5-10
図 5.15	その他諸国の工業用水取水量	5-11
図 5.16	アメリカ合衆国の工業用水量と実績「GDP」との関係	5-11
図 5.17	中華人民共和国の工業用水量と実績「GDP」との関係	5-12
図 5.18	先進国・経済発展国の工業用水量と実績「GDP」との関係	5-12
図 5.19	アジア・中近東・中南米の工業用水量と実績「GDP」との関係	5-13
図 5.20	アフリカ・産油国の工業用水量と実績「GDP」との関係	5-13
図 5.21	工業用水需要量推計の4つの関係式	5-14
図 5.22	「工業用水」推計需要量の世界合計	5-15
図 5.23	主要国の「工業用水」推計需要量	5-15

第6章 気候変動に世界の水資源量変化と社会的影響の分析方法

図 6.1	渇水による表流水からの取水量の減少の概念図	6-2
-------	-----------------------	-----

第7章 気候変動の社会的影響の分析結果

図 7.1	「新規水資源開発」による用水供給量世界合計	7-1
図 7.2	「渇水」を考慮した用水供給量世界合計 (ケース S1)	7-1
図 7.3	渇水考慮後の世界合計の水資源供給量比率	7-2
図 7.4	主要国の渇水率	7-2
図 7.5	主要国の「渇水」を考慮した用水供給量 (ケース S1)	7-2
図 7.6	生活用水が「50 (リットル/人/日)」に満たない人口 (全世界合計)	7-3
図 7.7	生活用水が「50 (リットル/人/日)」に満たない人口 (地中海沿岸国を除くアフリカ)	7-4
図 7.8	生活用水が「50 (リットル/人/日)」に満たない人口 (4か国を除く東アジア)	7-4
図 7.9	生活用水が「50 (リットル/人/日)」に満たない人口 ～「渇水」の影響	7-5
図 7.10	米 (水田) の自国生産量の過不足量世界合計	7-6
図 7.11	米 (水田) の自国生産量による食用自給率 (S1_A)	7-7
図 7.12	米 (水田) の輸入後の食用充足率 (S1_A)	7-7
図 7.13	米 (水田) の再配分後の地域別の食用充足率 (S1_A)	7-8
図 7.14	米 (水田) の過不足量への渇水の影響 (S1_A)	7-8
図 7.15	小麦の自国生産量の過不足量世界合計	7-9
図 7.16	中華人民共和国の小麦の自国生産量の過不足量 (S1_A)	7-10
図 7.17	小麦の自国生産量による食用自給率 (S1_A)	7-10

図 7.18	小麦の再配分後の食用充足率 (S1_A)	7-11
図 7.19	小麦の再配分後の地域別の食用充足率 (S1_A)	7-11
図 7.20	小麦の過不足量への渇水の影響 (S1_A)	7-11
図 7.21	中華人民共和国の小麦の自国生産量による飼料用自給率 (S1_A)	7-12
図 7.22	小麦の再配分後の地域別の飼料用充足率 (S1_A)	7-12
図 7.23	トウモロコシの自国生産量の過不足量世界合計	7-13
図 7.24	アフリカのトウモロコシの再配分後の食用充足率 (S1_A)	7-14
図 7.25	トウモロコシの自国生産量による飼料用自給率 (S1_A)	7-15
図 7.26	トウモロコシの再配分後の飼料用充足率 (S1_A)	7-15
図 7.27	トウモロコシの再配分後の地域別の飼料用充足率 (S1_A)	7-16
図 7.28	トウモロコシの再配分後の加工用自給率 (S1_A)	7-17
図 7.29	トウモロコシの再配分後の地域別の加工用充足率 (S1_A)	7-17
図 7.30	大豆の自国生産量の過不足量世界合計	7-18
図 7.31	大豆の自国生産量による食用自給率 (S1_A)	7-19
図 7.32	大豆の自国生産量による加工用自給率 (S1_A)	7-20
図 7.33	大豆の自国生産量による加工用自給率 (S1_A)	7-20
図 7.34	大豆の再配分後の地域別の加工用充足率 (S1_A)	7-21
図 7.35	新規水資源開発シナリオ等に即した全世界平均の一人一日当たりの食品消費カロリー	7-22
図 7.36	食品消費カロリー「2100(Kcal/人/日)」に満たない人口	7-23
図 7.37	地域別の食品消費カロリー「2100(Kcal/人/日)」に満たない人口 (S2_A)	7-24
図 7.38	食品消費カロリー「2100(Kcal/人/日)」に満たない人口の「渇水」の影響 (S1_A)	7-24
図 7.39	アメリカ合衆国の「生活用水ストレス」～「計算オプション」の効果	7-27
図 7.40	アメリカ合衆国の「工業用水ストレス」～「計算オプション」等の効果	7-27
図 7.41	アメリカ合衆国の「農業用水供給量」～「計算オプション」等の効果	7-28
図 7.42	米 (水田) の自国生産量の余剰量 (アメリカ合衆国)	7-28
図 7.43	小麦の自国生産量の余剰量 (アメリカ合衆国)	7-29
図 7.44	トウモロコシの自国生産量の余剰量 (アメリカ合衆国)	7-29
図 7.45	大豆の自国生産量の余剰量 (アメリカ合衆国)	7-30
図 7.46	ロシアの「生活用水ストレス」～「新規水資源開発」の効果	7-30
図 7.47	ロシアの「農業用水供給量」～「計算オプション」等の効果	7-31
図 7.48	米 (水田) の自国生産量の過不足量 (ロシア)	7-31
図 7.49	小麦の自国生産量の過不足量 (ロシア)	7-32

図 7.50	トウモロコシの自国生産量の過不足量 (ロシア)	7-32
図 7.51	大豆の自国生産量の過不足量 (ロシア)	7-33
図 7.52	インドの「生活用水ストレス」～「新規水資源開発」の効果	7-34
図 7.53	インドの「生活用水ストレス」～「計算オプション」の効果	7-34
図 7.54	米 (水田) の自国生産量の過不足量 (インド)	7-35
図 7.55	小麦の自国生産量の過不足量 (インド)	7-35
図 7.56	中華人民共和国の「生活用水ストレス」～ 「新規水資源開発」の効果	7-37
図 7.57	中華人民共和国の「生活用水ストレス」～ 「計算オプション」の効果	7-37
図 7.58	中華人民共和国の「工業用水ストレス」～ 「新規水資源開発」等の効果	7-38
図 7.59	小麦の自国生産量の過不足量 (中華人民共和国)	7-39
図 7.60	トウモロコシの自国生産量の過不足量 (中華人民共和国)	7-39
図 7.61	大豆の自国生産量の過不足量 (中華人民共和国)	7-40
図 7.62	インドネシアの「生活用水ストレス」～ 「新規水資源開発」の効果	7-41
図 7.63	インドネシアの「生活用水ストレス」～ 「計算オプション」等の効果	7-41
図 7.64	インドネシアの「工業用水ストレス」～「渇水」の影響	7-42
図 7.65	インドネシアの「農業用水供給量」～「渇水」の影響	7-42
図 7.66	ブラジルの「生活用水ストレス」～「新規水資源開発」効果	7-44
図 7.67	ブラジルの「生活用水ストレス」～ 「計算オプション」等の効果	7-44
図 7.68	ブラジルの「工業用水ストレス」～ 「新規水資源開発」の効果	7-45
図 7.69	ブラジルの「生活節水ストレス」～ 「計算オプション」等の効果	7-45
図 7.70	ブラジルの「農業用水供給量」～「渇水」の影響	7-46
図 7.71	小麦の自国生産量の不足量 (ブラジル)	7-46
図 7.72	トウモロコシの自国生産量の過不足量 (ブラジル)	7-47
図 7.73	大豆の自国生産量の余剰量 (ブラジル)	7-47
図 7.74	南アフリカの「生活用水ストレス」～ 「新規水資源開発」の効果	7-48
図 7.75	南アフリカの「生活用水ストレス」～ 「計算オプション」等の効果	7-49
図 7.76	南アフリカの「工業用水ストレス」～ 「新規水資源開発」等の効果	7-49
図 7.77	南アフリカの「農業用水供給量」～「渇水」の影響	7-50
図 7.78	トウモロコシの自国生産量の過不足量 (南アフリカ)	7-51
図 7.79	大豆の自国生産量の不足量 (南アフリカ)	7-51

図 7.80	地域別の「生活用水ストレス (S1_B)」	7-53
図 7.81	地域別の「生活用水ストレス (S2_B)」	7-53
図 7.82	地域別の「工業用水ストレス (S1_A)」	7-54
図 7.83	地域別の「工業用水ストレス (S2_A)」	7-54
卷末参照-1	2000年~2009年の「水ストレス」と「期待灌漑農地単収」	
図参 1.1	米(水田)の主要生産国の「天水ストレス」	参 1- 1
図参 1.2	米(水田)の主要生産国の「灌漑用水ストレス」	参 1- 2
図参 1.3	米(水田)の主要生産国のFAO平均単収と期待灌漑農地単収	参 1- 3
図参 1.4	小麦の主要生産国の「灌漑用水ストレス」	参 1- 4
図参 1.5	小麦の主要生産国のFAO平均単収と期待灌漑農地単収	参 1- 5
図参 1.6	トウモロコシの主要生産国の「灌漑用水ストレス」	参 1- 6
図参 1.7	トウモロコシの灌漑農地面積比率の推移	参 1- 6
図参 1.8	トウモロコシの主要生産国のFAO平均単収と期待灌漑農地単収	参 1- 7
図参 1.9	大豆の主要生産国のFAO平均単収と期待灌漑農地単収	参 1- 8
卷末参照-2	主要農作物4品目の生産状況	
図参 2.1	全世界の穀物全体生産量の推移(1970年~2007年)	参 2- 1
図参 2.2	全世界の品目別生産量の推移(1970年~2007年)	参 2- 1
図参 2.3	全世界の一人当たり穀物消費量の推移(1970年~2007年)	参 2- 2
図参 2.4	全世界の穀物作付面積全体の推移(1970年~2007年)	参 2- 2
図参 2.5	地域別の穀物作付面積全体の推移(1970年~2007年)	参 2- 3
図参 2.6	農作物品目別の作付面積の推移(1970年~2007年)	参 2- 3
卷末参照-3	主要3用途の用水使用量と水源別取水量	
図参 3.1	主要国の地下水取水量の経年変化	参 3- 5
図参 3.2	主要国の表流水取水量の経年変化	参 3- 7
図参 3.3	脱塩淡水化製造量が増加している6か国の経年変化	参 3- 8
卷末参照-4	バイオエネルギーについて	
図参 4.1	バイオエタノール生産量の実績と予測	参 4- 2
図参 4.2	世界の燃料用バイオエタノール導入状況	参 4- 3
図参 4.3	ブラジルでのバイオエタノール生産・消費・輸出	参 4- 4

— 表 目 次 —

第1章 序章

表 1.1	2000 年の主要農作物の生産量	1- 3
表 1.2	2000 年の主要食品別の消費カロリー（世界平均）	1- 3

第2章 本研究に使用した各種データ等

表 2.1	使用データ一覧	2- 1
表 2.2	対象 166 か国の「経済的区分」	2- 5
表 2.3	2050 年 CIESIN 「GDP」将来予測値 上位 10 か国	2- 9
表 2.4	地域別 CIESIN 「GDP」将来予測値の比較	2-10
表 2.5	2050 年 CIESIN 一人当たり「GDP」将来予測値	2-10
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	2-11
表 2.7	2050 年 CIESIN 「人口」将来予測値 上位 10 か国	2-15
表 2.8	CIESIN 「人口」将来予測値増加率 上位 3 か国・下位 3 か国	2-15

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

表 3.1	Irrigation cropping patterns in the year 2000	3- 5
表 3.2	主要国の農作物別灌漑用水供給量比率の例	3- 5
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	3- 7
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	3- 8
表 3.5	2000 年 米(水田)生産量 上位 15 か国の灌漑面積	3-14
表 3.6	米（水田）の対 2010 年の面積比率（世界合計及び主要国）	3-15
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）	3-18

第4章 主要農作物 4 品目の将来需要量

表 4.1	米（水田）の用途別内訳比率（1997 年～2007 年の平均値）	4- 2
表 4.2	小麦の用途別内訳比率（1997 年～2007 年の平均値）	4- 2
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）	4- 3
表 4.4	大豆の用途別内訳比率（1997 年～2003 年の平均値）	4- 4
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	4- 9
表 4.6	「食用小麦」需要量の推計計算値の上限値と下限値	4-11
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	4-13
表 4.8	「食用大豆」消費量の推計計算値の上限値と下限値	4-14
表 4.9	全食料消費カロリーを構成する食品品目	4-20

表 4.10	地域別の「植物性食品別カロリー換算表」	4-21
表 4.11	地域別の「動物性食品別カロリー換算表」	4-22
表 4.12	「いも類」消費量の推計計算値の上限値と下限値	4-23
表 4.13	「植物性油」消費量の推計計算値の上限値と下限値	4-24
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	4-25
表 4.15	「牛肉」消費量の推計計算値の上限値と下限値	4-26
表 4.16	「豚肉」消費量の推計計算値の上限値と下限値	4-27
表 4.17	「家禽」消費量の推計計算値の上限値と下限値	4-28
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	4-29
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	4-30

第5章 生活用水と工業用水の将来水需要量

表 5.1	主要国の 2050 年一人当たり生活用水推計量と対 2000 年倍率	5- 6
表 5.2	主要国の 2050 年生活用水推計需要量と対 2000 年倍率	5- 8
表 5.3	主要国の 2050 年工業用水推計需要量と対 2000 年倍率	5-16
表 5.4	日本における工業用水の回収水利用率	5-17
表 5.5	主要国での工業出荷額（現地通貨）と回収水利用率の試算	5-18
表 5.6	工業用水の回収水再利用率の設定	5-18

第6章 気候変動に世界の水資源量変化と社会的影響の分析方法

表 6.1	5 年ごとの表流水からの取水量の増加率の設定	6- 2
表 6.2	工業用水の「回収水利用率」の設定	6- 3
表 6.3	設定した「水配分シナリオ」	6- 4
表 6.4	米（水田）の食用消費率とその他用途消費量率	6- 5
表 6.5	影響分析シナリオ一覧（S1xA）の例	6- 8
表 6.6	世界の植物性油生産量の推移	6-10

第7章 気候変動の社会的影響の分析結果

表 7.1	「新規水資源開発」による用水供給量世界合計の 2050/2000 倍率	7- 1
表 7.2	米（水田）の余剰国と不足国の上位 5 か国（S2_A-2050 年）	7- 6
表 7.3	小麦の余剰国と不足国の上位 5 か国（S2_A-2050 年）	7- 9
表 7.4	トウモロコシの余剰国と不足国の上位 5 か国 （S2_A-2050 年）	7-13
表 7.5	大豆の余剰国と不足国の上位 7 か国（S2_A-2050 年）	7-18
表 7.6	CIESIN 一人当たり GDP（1990 年 US\$換算）の閾値到達年	7-25
表 7.7	日本における農作物の自国生産自給率と再配分後充足率	7-26

表 7.8	ロシアにおける農作物の自国生産自給率と再配分後充足率	7-33
表 7.9	インドにおける農作物の自国生産自給率と再配分後充足率	7-36
表 7.10	中華人民共和国における農作物の自国生産自給率と再配分後充足率	7-40
表 7.7	インドネシアにおける農作物自国生産自給率と再配分後充足率	7-43
表 7.12	ブラジルにおける農作物の自国生産自給率と再配分後充足率	7-48
表 7.13	南アフリカにおける農作物の自国生産自給率と再配分後充足率	7-52
巻末参照-1	2000年~2009年の「水ストレス」と「期待灌漑農地単収」	
表参 1.1	米(水田)の主要生産国の「灌漑用水ストレス」	参 1- 2
表参 1.2	小麦の主要生産国の「灌漑用水ストレス」	参 1- 4
表参 1.3	トウモロコシの主要生産国の「灌漑用水ストレス」	参 1- 6
表参 1.4	大豆の主要生産国の「灌漑用水ストレス」	参 1- 8
巻末参照-2	主要農作物4品目の生産状況	
表参 2.1	2000年 米(水田)生産量 上位15か国	参 2- 4
表参 2.2	2000年 小麦生産量 上位15か国	参 2- 5
表参 2.3	2000年 トウモロコシ生産量 上位15か国	参 2- 6
表参 2.4	2000年 大豆生産量 上位15か国一覽表	参 2- 7
巻末参照-3	主要3用途の用水使用量と水源別取水量	
表参 3.1	主要3用途の2000年用水量(全世界合計)	参 3- 1
表参 3.2	生活用水の用水使用量 上位10か国(2000年)	参 3- 1
表参 3.3	生活用水の一人当たり年間用水使用量 上位5か国(2000年)	参 3- 2
表参 3.4	工業用水の年間用水使用量 上位10か国(2000年)	参 3- 2
表参 3.5	工業用水の一人当たり年間用水使用量 上位5か国(2000年)	参 3- 3
表参 3.6	農業用水の年間用水使用量 上位10か国(2000年)	参 3- 3
表参 3.7	農業用水の一人当たり年間用水使用量 上位5か国(2000年)	参 3- 4
表参 3.8	「AQUASTAT」と「水の世界地図」の上位10か国の地下水取水量の比較	参 3- 4
表参 3.9	日本における2007年の地下水取水量の内訳	参 3- 5
表参 3.10	表流水からの取水量 上位10か国	参 3- 6
表参 3.11	脱塩淡水化用水の一人当たり年間製造量 上位5か国	参 3- 8
巻末参照-4	バイオエネルギーについて	
表参 4.1	バイオマスの分類	参 4- 1

謝辞

本研究は、国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部長として気候変動の影響を踏まえた長期的な河川管理・国土管理のための政策検討を目的として始めたものですが、研究を進めるにつれて、世界の水資源はどうなるか、生活用水・工業用水・農業用水は確保できるのか、食料は生産できるのか、経済や食料の面で外国に大きく依存している日本の安全保障の観点から水分野で多くの経験と優れた技術を有する我々土木技術者は世界にどのような技術的貢献をするべきなのかなど関心事が膨らんでいきました。先例が少ないうゑにテーマが大きすぎて研究の糸口を見いだせずにはいたことと人事異動で研究所を離れたことで研究を放置しておりましたが、文部科学省の事業採択を受けて中央大学理工学部が始めた「国際水環境人材育成プログラム」の総括コーディネーター兼特任教授に就任し、国土交通省時代の素朴な関心事が時宜を得た課題であることを再認識し研究を再開した次第です。

本論文を取りまとめることができたのは、研究全般にわたる山田正先生のご指導のおかげであり感謝に堪えません。本研究の成果は出発点にすぎず更なる発展が必要であると自覚しておりますが、先生の学恩に報いることができるように今後も真摯に研究に励みたいと思います。

また、気候変動に対応した水資源賦存量のシミュレーションデータの使用を快諾していただいた沖大幹先生には、たいへん感謝をいたしております。本研究は、このデータがあったればこそ進めることができました。ここに改めて御礼申し上げる次第です。

さらに、山田先生と共に本論文の副査をお努めいただいた、福岡捷二先生、檜山和男先生、谷下雅義先生、鎌倉稔成先生、鼎信次郎先生には、適切なお指摘を頂戴したいへん感謝をいたしております。特に、福岡先生には大所高所からのご示唆をいただきました。

これらの先生方の他にも、国土交通省時代にデータの収集や整理を手伝っていただいた財団法人国土技術センター河川政策グループ(当時)の担当者や研究所の水資源研究室(当時)の部下諸君など多くの尽力をいただいた方々にも感謝を申し上げます。

私のつたない研究を学位請求論文として取りまとめるまでに約8年かかりましたが、このような形で一応の成果として完成させることができましたのも以上の先生方や関係諸氏のご指導とご協力のおかげです。皆様には言葉では言い尽くせないほどのご高配を賜りました。ここにその学恩とご高配に深甚なる謝意を表します。

2014年3月

大平 一典