

シミュレーション結果の評価について

気候変動による世界の水需要量変化予測モデルを用いて、1990 年から 2050 年の予測計算を行った結果を整理する。

以下に、シミュレーションを行った検討ケース、及び昨年度の検討結果との相違点を示し、検討結果の評価にあたってのポイントを示す。

１．シミュレーション検討ケース

		水資源利用可能 シナリオ	水配分 シナリオ	さらなる施策の実施						気候 変動
				水需要の抑制		穀物生産量の増加		穀物需要の増加		穀物 生産
				節水率	回収率	施肥	遺伝子	穀・肉比率	バイオ	温度, CO2 , 日照
昨年度		水資源利用率一定	生活・工業用水先取り	×	×	×	×	×	×	×
基本 0		既存施設依存型	基本配分型	×	×	×	×	×	×	×
	基本 0 a	新規施設対応型	基本配分型	×	×	×	×	×	×	×
	基本 0 b	既存施設有効活用型	基本配分型	×	×	×	×	×	×	×
基本 1		最大利用型	基本配分型	×	×	×	×	×	×	×
	基本 1 a	最大利用型	渇水調整途上型	×	×	×	×	×	×	×
	基本 1 b	最大利用型	均等配分型	×	×	×	×	×	×	×
	感度 a	最大利用型	基本配分型	○ (上限 20%)	×	×	×	×	×	×
	感度 b	最大利用型	基本配分型	×	○ (上限 90, 40%)	×	×	×	×	×
	感度 c	最大利用型	基本配分型	×	×	○ (上限 7t/ha)	×	×	×	×
	感度 d	最大利用型	基本配分型	×	×	×	×	○ (肉、油 を考慮)	×	×
	感度 e	最大利用型	基本配分型	×	×	×	×	×	○ (コーン を設定)	×

1) 水資源利用可能シナリオ

水需給のギャップを埋め、水ストレスを緩和する対応策として、利用可能水資源量を増加させるハード対策（ダム建設等）、水需要を抑制する方策としてのソフト対策（渇水調整等）について、個別に評価を行う。

また、ハード対策とソフト対策を融合し、さらに施設間の統合的な運用等による水利用向上策を実施した場合の評価を行う。

		水資源利用可能 シナリオ	検 討 条 件		
基本 0		既存施設依存型 (無施策型)	現況施設	現況のハード、ソフトを継続 (新規の取り組みなし)	現況
基本 0 a	新規施設対応型 (ハード対策のみ型)	現況施設＋新規ダム (ハード対策)	ダム整備等ハード対策のみを 従前のペースで継続	近年のトレンドで貯水池が増加	
基本 0 b	既存施設有効活用型 (ソフト対応のみ型)	現況施設＋渇水調整 (ソフト対策)	渇水調整等ソフト対策を各国 で実施	渇水調整を実施(上工水 20%、農水30%)	
基本 1		最大利用型 (ハード・ソフト融和施策型)	現況施設＋新規ダム＋渇水調整 ＋施設有効活用 (ハード対策＋ソフト対策)	ハード対策＋ソフト対策に加え、 ダムの統合運用等高度な 水資源確保策を実施	統合運用の効果を追加

2) 水配分シナリオ

利用可能水資源量の各用水別の配分は、各国各地域の産業構造や水利用の形態から依存度の多寡を評価し、決定することが合理的であることから、世界各国を【先進国】、先進国以外を【工業国】及び【農業国】のグループに分類した上で、シナリオ毎の配分の考え方を設定した。

	水配分シナリオ	水配分の優先順位					条件設定の考え方
		国分類	生存のための 生活用水	生活 用水	工業 用水	農業 用水	
基本 1	基本配分型 (主産業先取り型)	【先進国】	①	按分	按分	按分	渇水調整能力は、【先進国】のみ実施し、他は①～④の順で先取りする。
		【工業国】	①	③	②	④	
		【農業国】	①	③	④	②	
基本 1 a	渇水調整途上型	【先進国】	①	按分	按分	按分	中間段階
		【工業国】	①	按分	②	按分	
		【農業国】	①	按分	按分	②	
基本 1 b	均等配分型	【先進国】	①	按分	按分	按分	全ての国で渇水調整が可能
		【工業国】	①	按分	按分	按分	
		【農業国】	①	按分	按分	按分	

2. 今年度のシミュレーション評価の視点

昨年度の検討モデルは、2050年の単年度予測を行ったのみで、中間年の表現が不可能であったが、今年度のモデルは、各年の水資源賦存量等を入力し、繰り返し計算を行うことにより時系列での評価が可能となった。

昨年度は、単年（1断面）のみの計算結果であり、計算期間全体の水資源の動向やそれに伴う穀物生産の動向等が表現できなかったが、今年度は、計算期間内の時系列的な推移、各年の地域別の偏在の度合いが表現可能となることから、気候変動のリスクをより適切に表現できるものへと改良がされている。

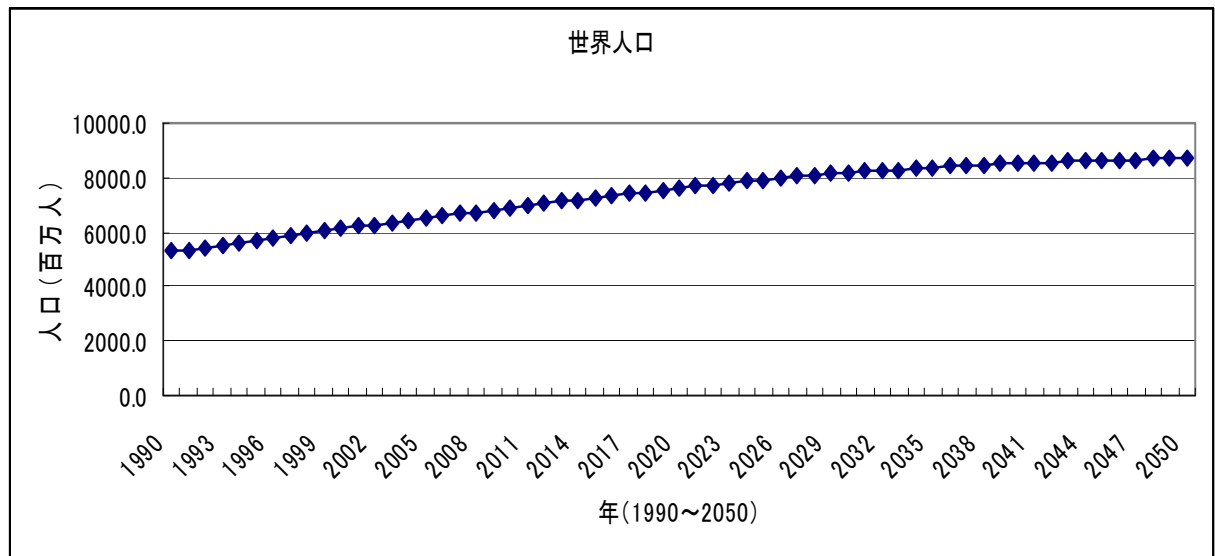
このことから、以下の観点から試算結果の評価を行うこととする。

- 降雨等外的条件の変化に伴う、ストレスの時系列変化、地域偏在の状況
- ストレスの変化に伴う、生活用水等の不足や農業生産の不足の程度
- 水資源施策の有効性、改善の程度
- その他、不確定要因に対する影響の程度

以下で、既往統計データを用いて構築したモデルに1990年～2050年の人口、GDP、水資源賦存量を入力条件として、1990年から2050年の予測を連続的に行った結果を示す。

1. 入力条件

- 1) 気候条件：沖研究室提供による、A1Bシナリオに基づく水資源賦存量等
- 2) 水資源利用可能シナリオ：既存施設依存型
- 3) 水配分シナリオ：基本配分型
- 4) 人口の経年変化：CIESIN（IPCCのA1Bシナリオに基づく各国別データ



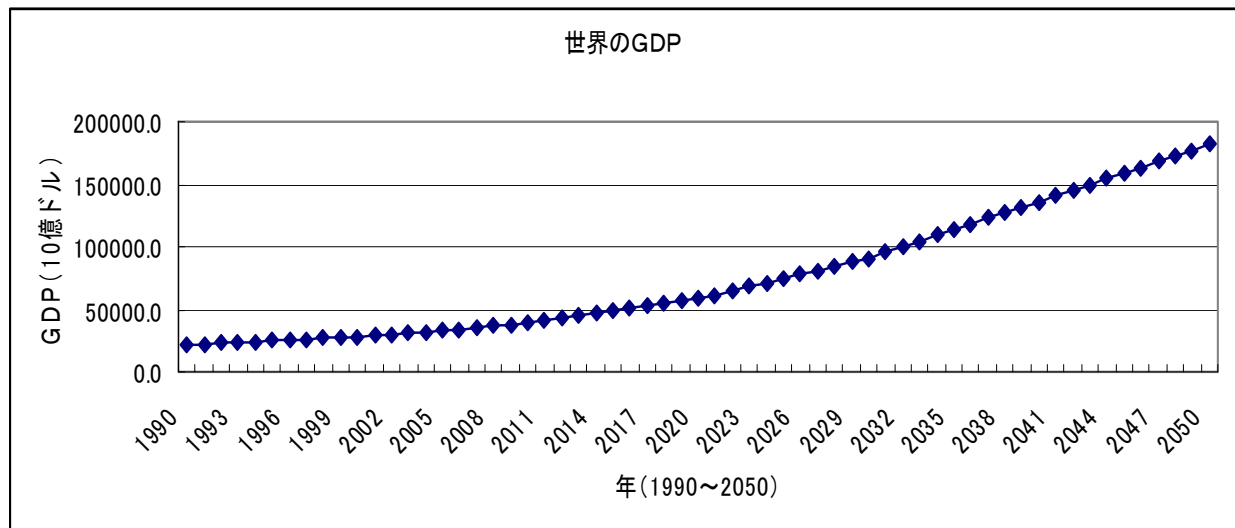
人 口 (百万人)	1990 年	2050 年	伸 率
ア ジ ア	3,182.7	5,002.2	1.57
ア フ リ カ	630.7	1765.6	2.80
ヨ ー ロ ッ パ	733.4	706.7	0.96
北 中 央 ア メ リ カ	415.4	665.3	1.60
南 ア メ リ カ	293.6	505.6	1.72
オ セ ア ニ ア	26.2	47.7	1.82
全 世 界	5,281.9	8,693.0	1.65

人口の推移をみると、全世界人口は増加を続け 2050 年時点で約 8.7 億人（1990 年の 1.65 倍）と予測される。

このため、生活用水、食料需要は増加し、水需給は逼迫する方向に推移すると予測される。

地域毎の人口動向をみると、アフリカの人口増が顕著であり、逆にヨーロッパでは人口減が予測されている。

5) GDP の経年変化 : CIESIN (IPCC の A1B シナリオに基づく各国別データ



GDP (10 億ドル)	1990 年	2050 年	伸 率
ア ジ ア	5,132.8	77,932.0	15.18
ア フ リ カ	476.9	18,117.2	37.99
ヨ ー ロ ッ パ	8,337.9	35,892.9	4.30
北 中 央 ア メ リ カ	6,678.5	30,306.2	4.54
南 ア メ リ カ	782.6	15,866.4	20.27
オ セ ア ニ ア	364.0	1,279.5	3.51
全 世 界	21,772.8	179,394.3	8.24

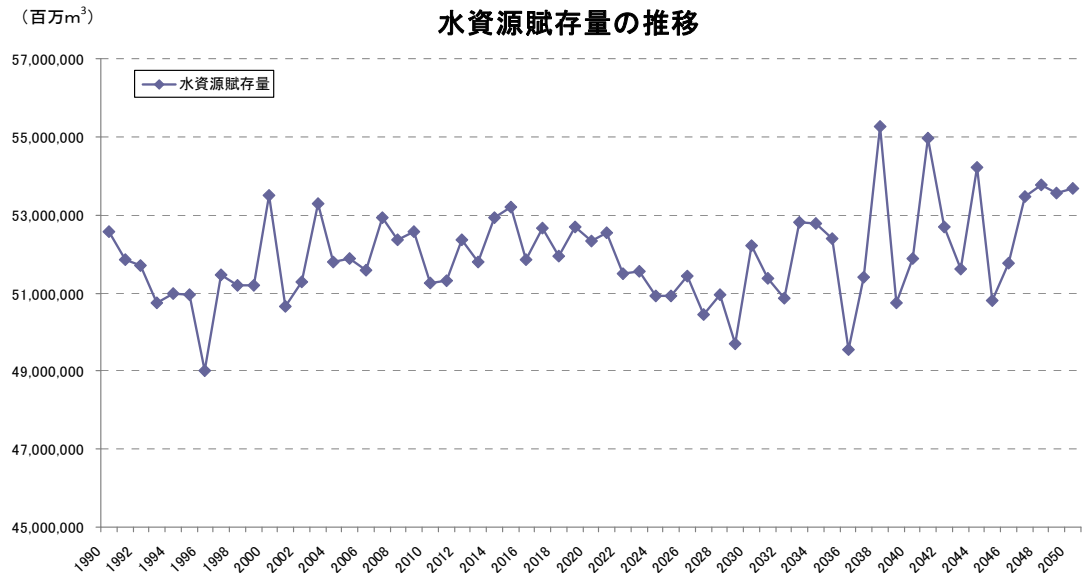
GDP の推移をみると、全世界 GDP は増加を続け 2050 年時点で約 180 兆ドル (1990 年の 8.24 倍) と予測される。

GDP の増加に伴い、生活・工業用水等都市用水の増加や、肉・油の需要の増加に起因した穀物需要の増加等により、水需給は逼迫する方向に推移すると予測される。

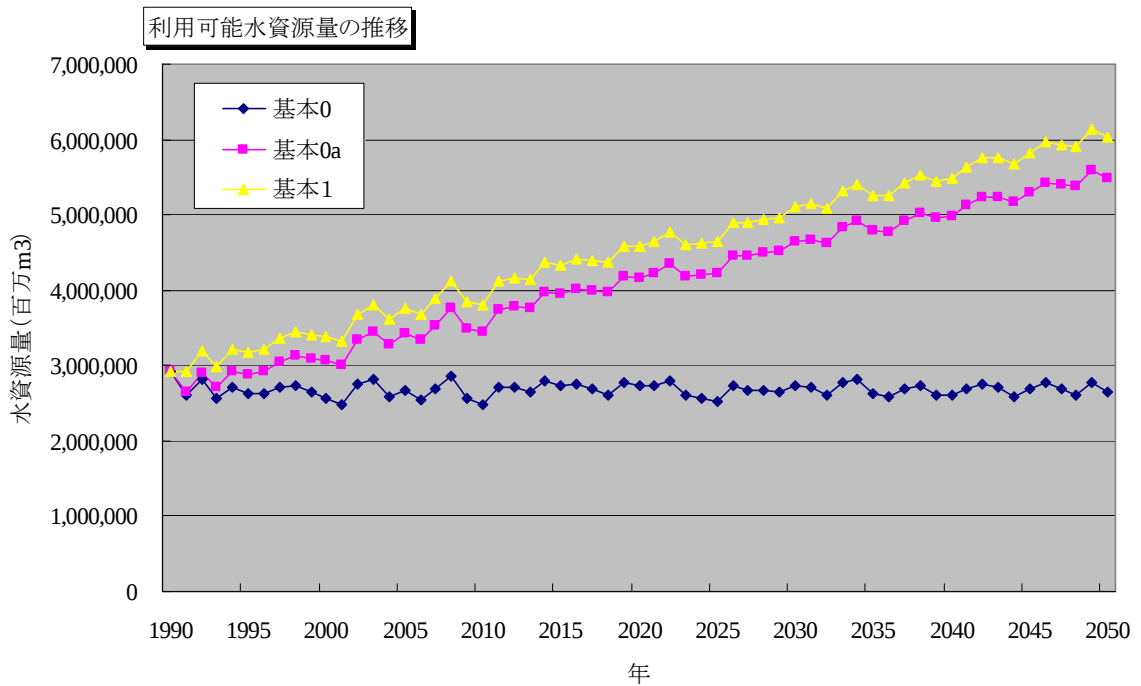
地域毎の GDP 動向をみると、アフリカ、南米、アジア地域の途上国の経済発展が顕著であると予測されている。

2. 水資源賦存量と利用可能水資源量

沖研究室提供のA 1 Bシナリオに基づく全世界の水資源賦存量と、今回試算した利用可能水資源量の経年変化は以下のとおり。



全世界の水資源賦存量は、4 9 ～ 5 5 兆 m^3 のオーダーで推移すると予測される。



利用可能水資源量は、基本0（既存施設依存型）の場合、2.4～2.9兆m³のオーダーで増減し、60年間の平均値からプラスの方向に8.75%、マイナスの方向に▲7.82%の乖離がみられる。

基本0a（新規施設対応型）の場合、その時系列の推移をみると、ダムの整備により貯水池が増加していくとともに、利用可能水資源量が増加していき、洪水等による無効放流が減少し、利用可能な水資源に転換している状況がわかる。

また、基本1（ハード・ソフト融和施策型）の場合、基本0aで整備されたダム貯水池を、更に効率的に運用・活用することにより、基本0aより約1割程度利用可能水資源量の増加が見込まれる。

1) 水資源賦存量の評価

水資源賦存量の経年的な変動をみると、賦存量全体（全世界）の値は 1990～2050 年の 60 年間の平均で 51.96 兆 m^3 である。

60 年間で賦存量最大の年(2038 年)は 55.26 兆 m^3 と、6.35%平均値から乖離しており、賦存量最小の年(1996 年)は 49.00 兆 m^3 と、▲5.70%平均値から乖離している。

全世界でみると、水資源賦存量は平均から 5～6%の増減の範囲内で推移しているが、国・地域別で見た場合、その変動幅はより大きくなる。つまり、国・地域ごとに賦存量の評価をした場合、洪水年と渇水年がより顕著にあらわれることがわかり、その振幅も全世界合計値の変動より顕著となる。

本検討では、水資源量の多寡が生活用水や農業生産にどのような影響を及ぼすかについて検討することに主眼がおかれていることから、国・地域ごとに賦存量の平均値からどの程度深刻な水資源の不足が生じ得るかを整理した。

表 渇水年の出現頻度

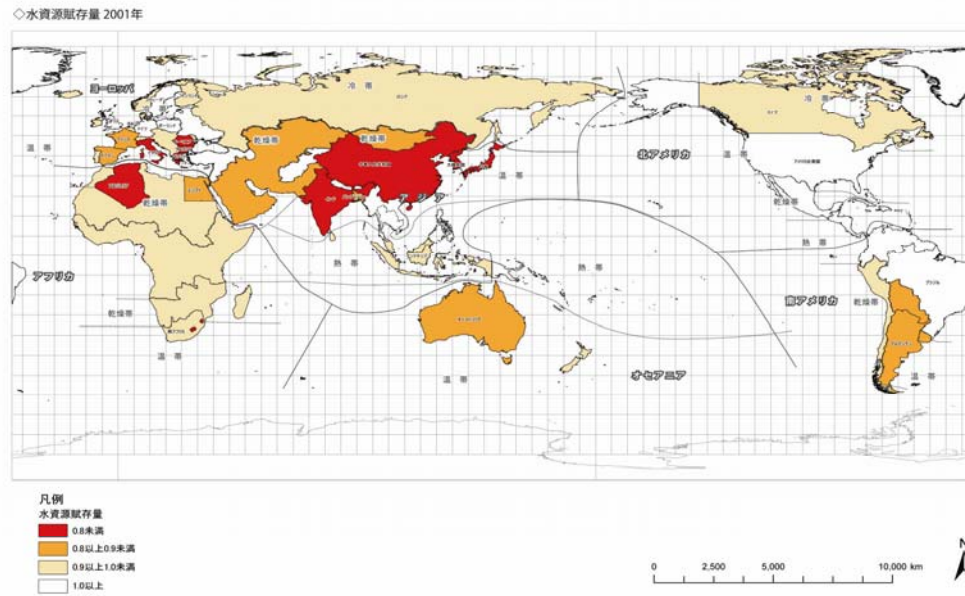
	水資源賦存量 平均値	最大値 (百万 m^3)	最小値 (百万 m^3)	平年の9割 以下の年数 (年)	平年の8割 以下の年数 (年)
日本	335,108	489,888	219,793	15	6
中国	1,738,590	2,624,485	1,247,971	21	8
インド	1,410,885	1,799,442	1,013,312	12	6
オーストラリア	653,080	1,159,209	138,010	24	19
イギリス	112,490	159,774	84,633	16	4
ブラジル	6,908,449	8,522,768	4,799,334	10	1
アメリカ	3,682,225	4,550,486	2,945,610	9	1
全世界	51,959,895	55,261,315	48,996,886	0	0

昨年度の検討では、1990 年と 2050 年のそれぞれの断面でしか評価ができなかったが、今年度は 60 年間の各年で、各地域の渇水の深刻さを反映した評価が可能となった。

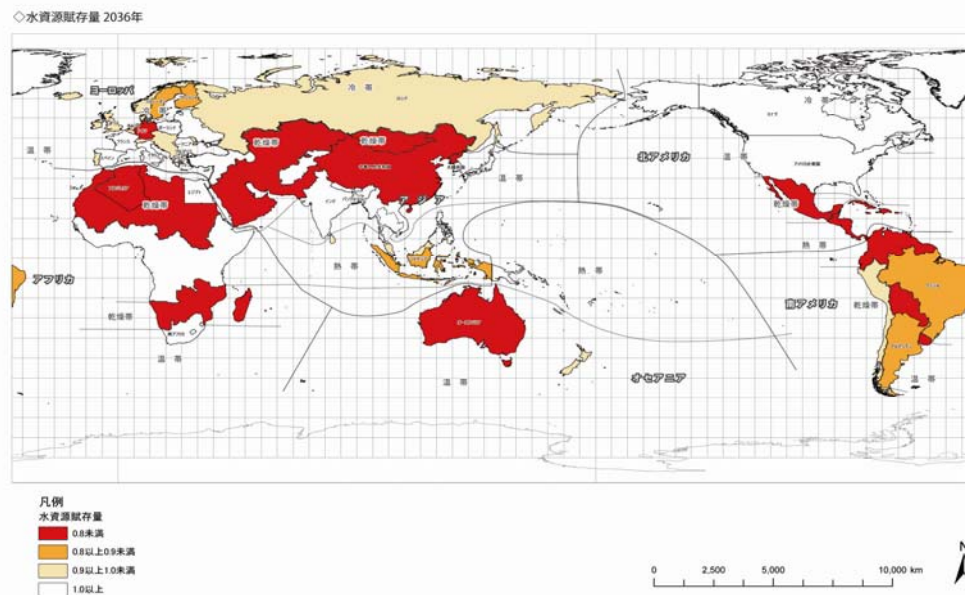
水資源賦存量の経年的変化と地域偏在の状況を、地図上に反映したものを整理すると別図のようになり、いつ、どの地域で渇水が発生するかが端的に表現される。

- ・ 2001 年の水資源賦存量の状況をみると、中国、インド、日本、韓国等アジア諸国で、平年値の 8 割を割り込む渇水が生じているにもかかわらず、ヨーロッパ等の一部の国を除き、深刻な渇水は生じていない。
- ・ 逆に、2036 年では、アジア、中東、アフリカ、中南米、オセアニア等世界各地域で深刻な渇水が発生していることがわかる。

2001 年



2036 年



2) 利用可能水資源量の評価

次に、水資源の偏在の状況を 1990～2050 年の 60 年間の利用可能水資源量で評価することとする。

各国別の 60 年間の利用可能水資源量の平均（基本 0）を、1 割、2 割以上下回る年を算出すると以下のように整理できる。

表 利用可能水資源量の偏在

	利用可能水資源量 平均値(基本0) (百万m ³)	平年の9割以下の 年数(年)		平年の8割以下の 年数(年)	
		基本0	基本0a	基本0	基本0a
日 本	77,169	13	6	5	2
中 国	467,932	5	1	1	0
イ ン ド	473,126	9	9	2	1
オーストラリア	17,681	13	5	8	2
イ ギ リ ス	13,410	11	10	1	1
ブ ラ ジ ル	38,511	10	0	1	0
ア メ リ カ	151,949	0	0	0	0
全 世 界	2,680,252	0	0	0	0

利用可能水資源量は、全世界合算値では平均値の 2 兆 6800 万 m³ から最大で 8.8%、最小で▲7.2%乖離しており、平年の 9 割を下回る年はなかった。

しかしながら、世界各地では水資源賦存量と同様に、利用可能水資源量が多い年、少ない年が偏在しており、水利用上の制約が生じる要因となっている。

また、前出の水資源賦存量の 9 割を下回る年数と比較すると、利用可能水資源量の 9 割以下の年数は、総じて小さくなっていることがわかる。このことは、1990 年以前に整備済のダムの影響により、本来無効放流となる降雨が利用可能な水資源となっている効果が現れているものと考えられる。

さらに、基本 0 と基本 0 a とでそれぞれの年数を比較してみると、1990 年以降も貯水池の整備を続けることにより、国によっては用水不足が生じるリスクを、大幅に軽減できることがわかる。

今後、世界的に人口が増加すること、GDP の増加により生活水準が向上することを勘案すると、水需要量は今後も増加することが予測されるため、貯水池の整備により、食糧需要増への対応、生活水準の向上や工業化の進展といった、社会ニーズに対応するベースを構築していくことが、水資源リスクに対して有効に対処しうる方策となることがわかる。

3. 前回の計算結果の是正

1) 計算結果と実績値の乖離

前回の検討会において、気候変動モデルで基本0ケースの試算を実施したところ、穀物生産量が、実際の生産量と比べ低く算出される結果となり、実績値（1990）と著しく乖離していることがわかった。

品 目	実 績 (FAOSTAT)	計 算 (モデル)	比 率
米	5 1 7 百万トン	8 6 百万トン	1 / 6 . 0
小 麦	5 8 9 百万トン	4 7 0 百万トン	1 / 1 . 3
大 豆	1 0 8 百万トン	5 9 百万トン	1 / 1 . 8
コーン	4 8 2 百万トン	2 0 5 百万トン	1 / 2 . 4

このため、モデルの計算過程を分析した結果、降雨ストレスが過大に計算されており、生産が極端に抑制されていることが判明。

国 名	灌漑 比率	農業用水 ストレス (灌漑地)	穀物生産量 (灌漑地) ト ン	降 雨 ストレス (非灌漑地)	穀物生産量 (非灌漑地) ト ン
(米)			ト ン		ト ン
全 世 界			85,654,845		
バングラデシュ	0.30	1.00	7,916,511	0.12	2,241,207
中華人民共和国	0.37	0.28	19,761,445	0.00	117,006
インド	0.28	1.00	30,736,629	0.00	392,670
日 本	0.35	1.00	4,653,851	0.05	464,630
南アメリカ×温帯	0.06	0.12	4,719	0.90	545,898
オセアニア×熱帯	0.03	1.00	946	1.00	26,151

モデル上では、

$$\text{穀物生産量} = \text{単収} \times \text{作付面積} \times (\text{農業用水} \cdot \text{降雨}) \text{ ストレス}$$

の関係で算出しているため、降雨の充足率（ストレス）が直接生産量に反映することとなっている。

ストレスが極端に大きく（充足率が小さく）でる主因は、

- ① 水資源賦存量の計算に用いる蒸発散量には、穀物生産の過程で生じる消費量も含まれているため、農業用水の収支を計算する段階でダブルカウントが生じていること
- ② 農業用水の収支を計算する前提として、地域の特性を反映した水消費原単位が設定されていないこと

が挙げられる。

仮に、ストレスがない状態（充足率：1.00）で、生産量を試算すると、実績の穀物生産量と近い値を示すことがわかる。

国名(日本語)	(A) 穀物生産量(米) 検討会提示値	(B) 穀物生産量(米) 降雨ストレス無い場合	(C) 穀物生産量(米) FAOSTAT 実績値	A÷C 比率	B÷C 比率
	トン	トン	トン		
全世界	97,673,664	530,441,393	517,113,153	0.19	1.03
バングラデシュ	10,157,717	26,777,082	26,777,900	0.38	1.00
中華人民共和国	19,878,451	191,614,550	191,614,680	0.10	1.00
インド	31,129,298	111,514,495	111,517,400	0.28	1.00
日本	5,118,481	13,123,857	13,124,000	0.39	1.00
南アメリカ×温帯	550,508	644,264	644,264	0.85	1.00
オセアニア×熱帯	27,097	27,097	26,477	1.02	1.02

2) モデルの是正

①ダブルカウントの解消

モデルの構造上、穀物生産に係る水については、農業用水需要量の判定で使用する必要があるため、耕作地からの蒸発散量の補正を行うことにより、ダブルカウントを是正する。

→ 穀物生産量に応じて蒸発散量を低減

②水消費原単位の補正

品目毎の水消費原単位は、日本の原単位を参考として下表の数値を使用していたが、国・地域毎の降雨等はそれぞれのリアルウォーターに相当することから、地域の単収を指標として、補正した原単位を用いることとする。

前回のモデルに用いた水消費原単位と必要水量

品目	実績生産量 百万トン	水消費原単位 m ³ /トン	必要水資源量 十億m ³
米	517	3,600	1,861
小麦	589	2,000	1,178
大豆	108	2,500	270
コーン	482	1,900	916
合計	1,696		4,225

補正の方法は、各国の単収の関係から、次式により行うこととする。

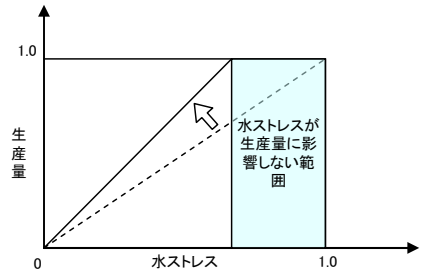
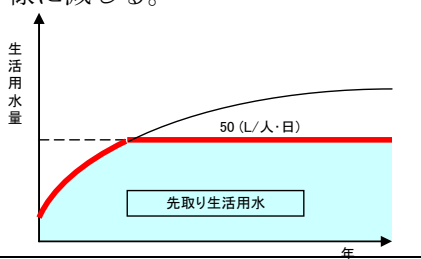
$$\text{当該国の水消費原単位} = \text{日本の水消費原単位} \times (1 / \text{当該国の単収}) / (1 / \text{日本の単収})$$

<参 考>

$$\text{水消費原単位} = (1 / \text{単収}) \times \text{要水量} \times \text{生育期間} \times \text{歩留まり率}$$

③その他の改良点

モデルの精度向上のため、以下の項目について是正を行った。

モデルの問題点と改善方法		
項 目	問 題 点	改 善 方 法
①降雨・農業用水ストレスのかけ方	・ ストレス値を生産量に乗じているため、生産量の減少が著しい。 ・ 実際は、ある閾値までのストレスであれば生産量の減少は緩やかで、閾値を超えると生産量の減少が生じると考えられる。	・ ストレス値がダイレクトに生産量に反映する計算をしていたが、小さなストレスでは生産量への影響はを軽減。 小さなストレスでは生産量への影響が少ない関係の設定 
②生存に必要な生活用水量	・ 一人あたり生活用水需要量（実績値および相関式による将来予測値）が 50L/人・日を下回る国がある。	・ 実績及び相関式による将来予測値の一人あたり生活用水需要量が 50L/人・日を下回る場合は、「生存に必要な生活用水量」も同様に減じる。 
③灌漑率の設定	・ 4 品目で一律一定の灌漑率を設定している。 ・ 日本の米など、大部分が灌漑に依存している品目の灌漑率が低めに設定されている。	・ 各国の灌漑面積を確認 ・ 日米欧など主要国で品目別灌漑率を調査し、灌漑率を設定。 当初、灌漑率は FAOSTAT データを使用していたが、AQUASTAT 詳細な灌漑面積データがあることから、AQUASTAT データの灌漑面積から各国の灌漑率を算定する。

3) 再計算結果と実績値の比較

上記を踏まえて再計算を実施したところ、穀物生産量は実績値（1990）とほぼ等しくなり乖離は是正された。

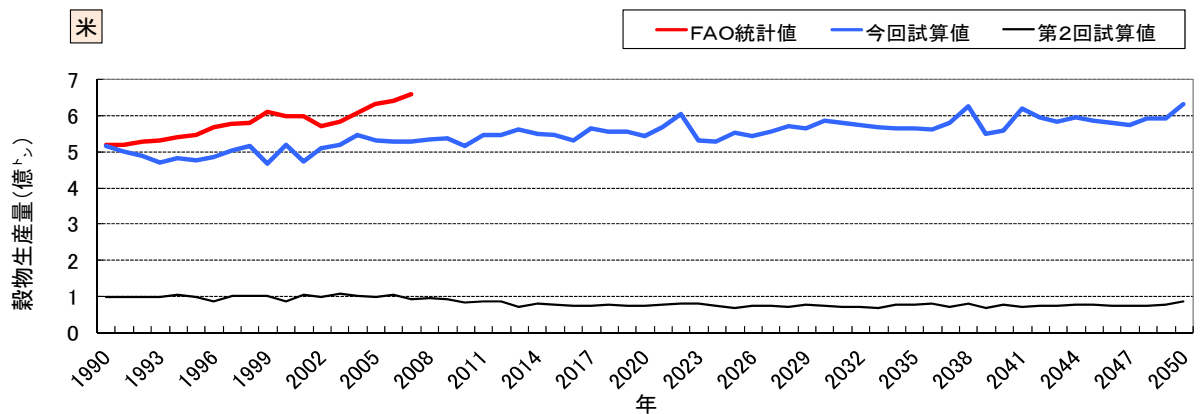
品 目	実 績 (FAOSTAT)	再 計 算	比 率
米	5 1 7 百万トン	5 1 6 百万トン	1 / 1. 0
小 麦	5 8 9 百万トン	5 3 8 百万トン	1 / 1. 1
大 豆	1 0 8 百万トン	1 0 8 百万トン	1 / 1. 0
コーン	4 8 2 百万トン	4 3 3 百万トン	1 / 1. 1

【基本 0：試算結果】

1. 主要 4 品目穀物生産量

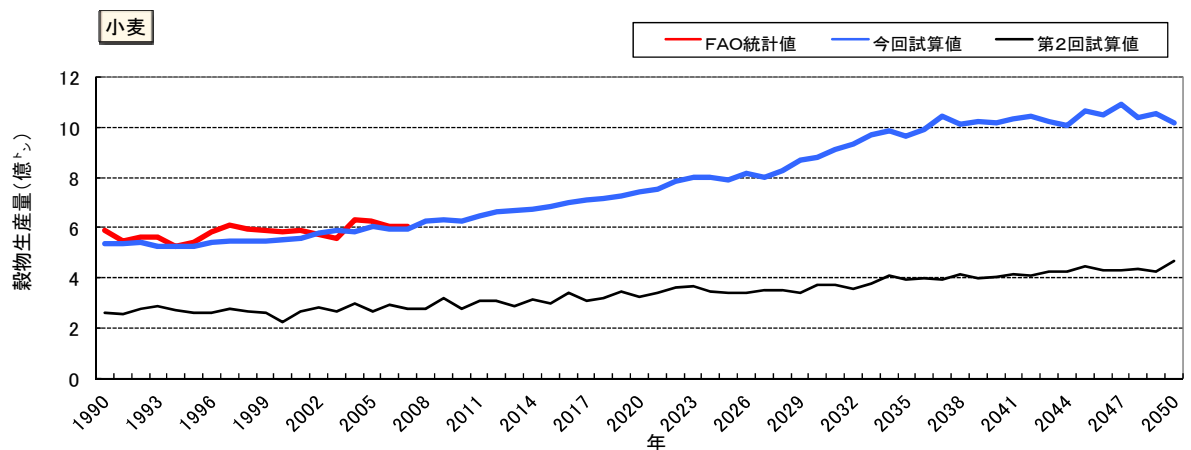
主要 4 品目の穀物生産量に関する経年変化を、品目別に示すと以下のとおりとなる。
 なお、前回の試算値（黒）と、F A O 統計値（赤）についても併せて記載する。

1) 米



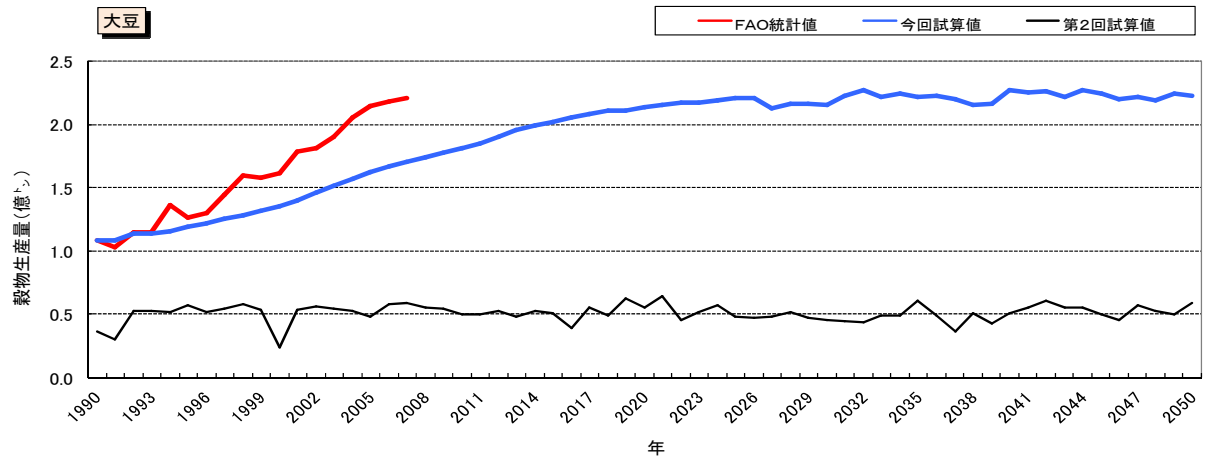
米の生産量は 1990 年の 5.2 億トから徐々に増加し、2050 年では約 6.3 億トの生産量に達するものと試算される。

2) 小 麦



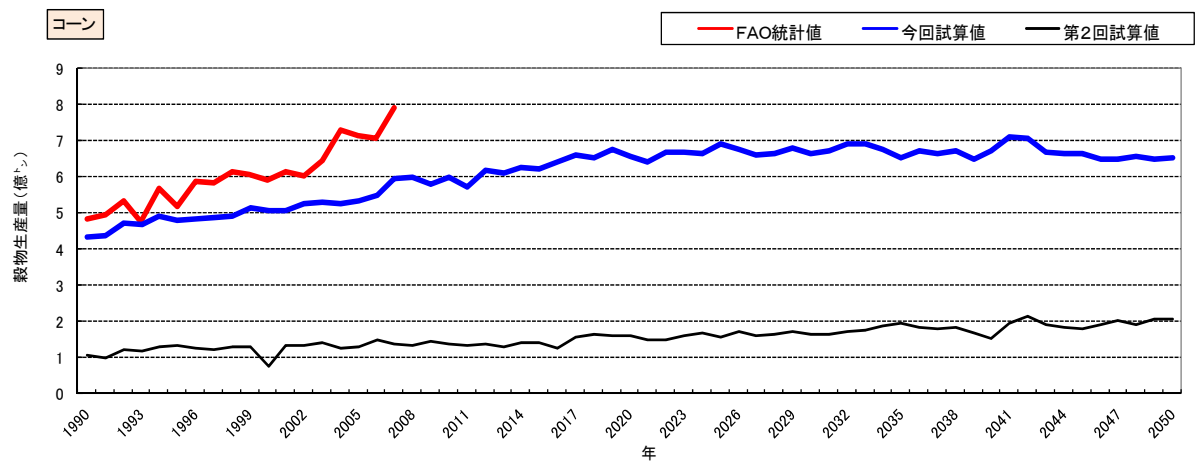
小麦の生産量は 1990 年の 5.4 億トから増加し、2050 年では約 11.0 億トと倍増するものと試算される。

3) 大 豆



大豆の生産量は1990年の1.1億トから増加し、2025年頃には2.2億トと倍増し、その後は同様の生産量で推移するものと試算される。

4) コーン



コーンの生産量は1990年の4.3億トから増加し、2030年頃には6.5億トとほぼ倍増し、その後は同様の生産量で推移するものと試算される。

2. 昨年度の計算結果との比較

昨年度のモデルで 2050 年時点の 4 品目穀物生産量と需要量を計算した結果と、今年度改良したモデルでの計算結果を比較すると以下のとおりである。



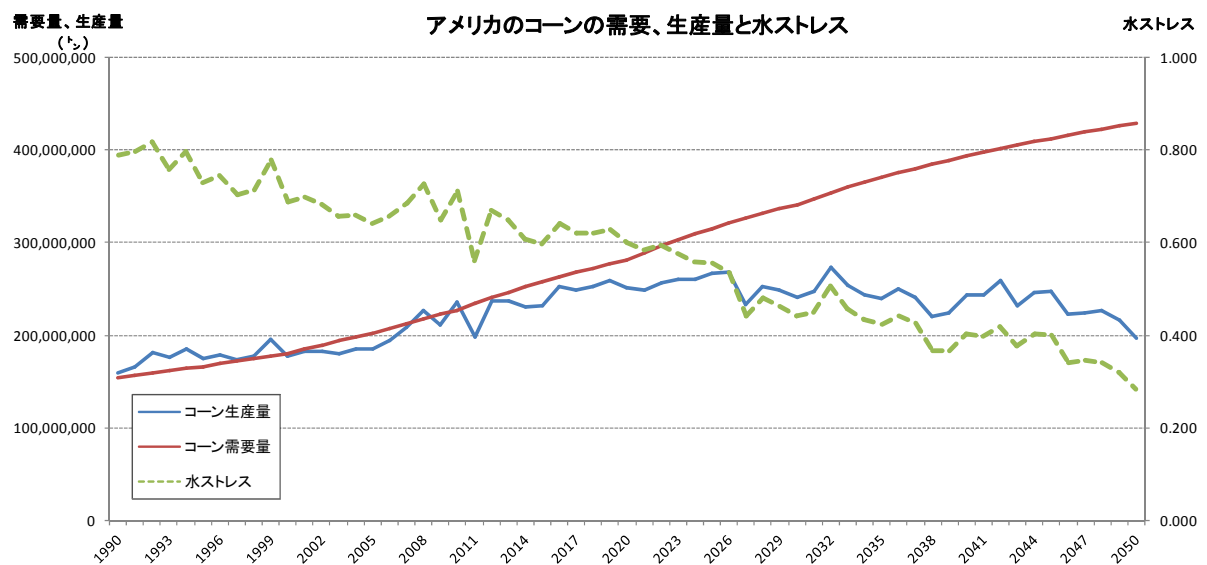
結果をみると、穀物生産量は米、コーンを除き、昨年度より増加しているが、このことは利用可能水資源量の是正を行ったこと、需要量や単収の相関式の改善を行ったことなどに起因すると考えられる。

また、需給ギャップは小麦、大豆、コーンで生産量が需要量に追いついていないことがわかるが、昨年度の需給ギャップと比べると、コーンを除きいずれの品目でも改善していることから、モデルの精度は向上しているものと考えられる。

3. 穀物生産量と需給ギャップ

穀物4品目のうち大豆、コーンについては需要量の増大に比して生産が頭打ちとなり、需要量に対する供給量が不足する傾向が認められるが、このことは、水ストレスの増大と関係している。

大豆、コーンの主要生産国であるアメリカについて、需要量と生産量及び水ストレスの関係を以下に示す。



アメリカのコーン生産量は、需要の増加に追随して徐々に増加していくが、非かんがい地の生産量は降雨ストレスに併せて微妙に増減している。その後、生産の増加にあわせて作付面積が増大してくると、農業用水ストレスが高くなり生産量に影響するようになり、水ストレスが過大になると、生産は頭打ちとなり、需給ギャップは拡大する。

このことに対処するためには、利用可能水資源量を増大し、農業生産の隘路を解消する必要があるが、水資源開発はその有効な手段となる。

4. 貧困人口の試算

1) 貧困人口の算出方法

各国の4品目摂取カロリーは、横軸を貧困順にソートした人口、縦軸を摂取カロリーとして、下図の曲線のような分布となると考えられるが、分布が不明であるため、貧困層の平均摂取カロリーと非貧困層の平均摂取カロリーを現在の各国データから算定する。

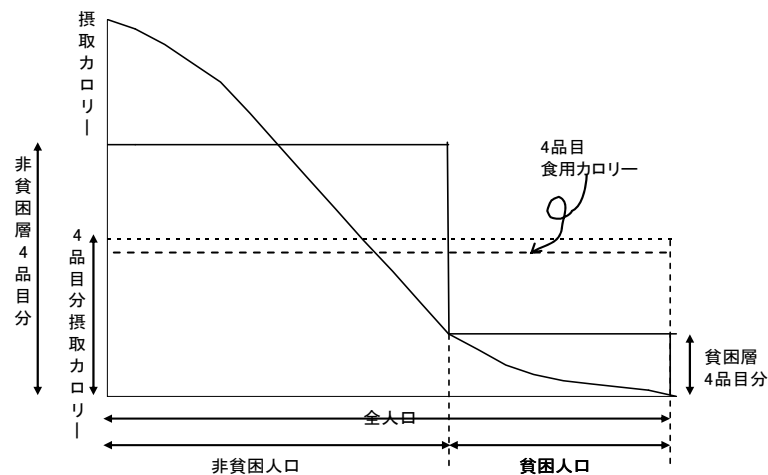


図 各国の一人あたり穀物4品目摂取カロリー分布のイメージ

ここで、将来の貧困人口が、穀物需給バランスによりどのように変動するかを推定するため、基本的な条件設定について整理する。

① 全摂取カロリーに占める、穀物4品目の摂取カロリー比を設定

穀物4品目カロリー比率＝穀物4品目カロリー / 全摂取カロリー

※ 穀物4品目カロリー、全摂取カロリーとも、各国の現況値を用いて算出。

② 貧困層4品目摂取カロリーの設定

貧困境界値の摂取カロリー量の平均から、最低摂取カロリーを1,825Kcalと設定。

この場合、貧困層が最低限必要とする摂取カロリーのうち4品目カロリーの割合は、①の穀物4品目カロリー比率を乗じて算出。

貧困層4品目摂取カロリー＝1,825kcal×穀物4品目カロリー比率

③ 非貧困層4品目摂取カロリーの設定

非貧困層は、②で算定した残余を摂取するものとして、非貧困層4品目摂取カロリーを次式にて算出。

非貧困層 4 品目摂取カロリー＝

$$\frac{4\text{品目食用カロリー} - (\text{貧困層}4\text{品目摂取カロリー} \times \text{貧困人口})}{\text{人口} - \text{貧困人口}}$$

今回の検討では、国全体の 4 品目需要量が予測算出され、これから一人あたりの 4 品目摂取カロリーが算出される（下図縦軸の「4 品目分摂取カロリー」）が、貧困層・非貧困層の摂取カロリーは算出されない。

そこで、以下の仮定を置き、後述の通り各国の将来貧困人口を算定する。

仮定 1：貧困層穀物 4 品目摂取カロリーは現状と変わらない。

仮定 2：非貧困層穀物 4 品目摂取カロリーは、各国の穀物 4 品目の将来/現在比で変化する。すなわち、

将来非貧困層穀物 4 品目摂取カロリー＝

$$\frac{\text{現在非貧困層穀物 4 品目摂取カロリー} + \text{将来穀物 4 品目カロリー} - \text{現在穀物 4 品目カロリー}}{\text{人口} - \text{貧困人口}}$$

この仮定を用いると、将来貧困人口は下式で計算される。

$$\text{将来貧困人口} = \frac{(\text{非貧困層}4\text{品目分摂取カロリー} \times \text{人口}) - 4\text{穀物}4\text{品目カロリー}}{\text{非貧困層}4\text{品目分摂取カロリー} - \text{貧困層}4\text{品目分摂取カロリー}}$$

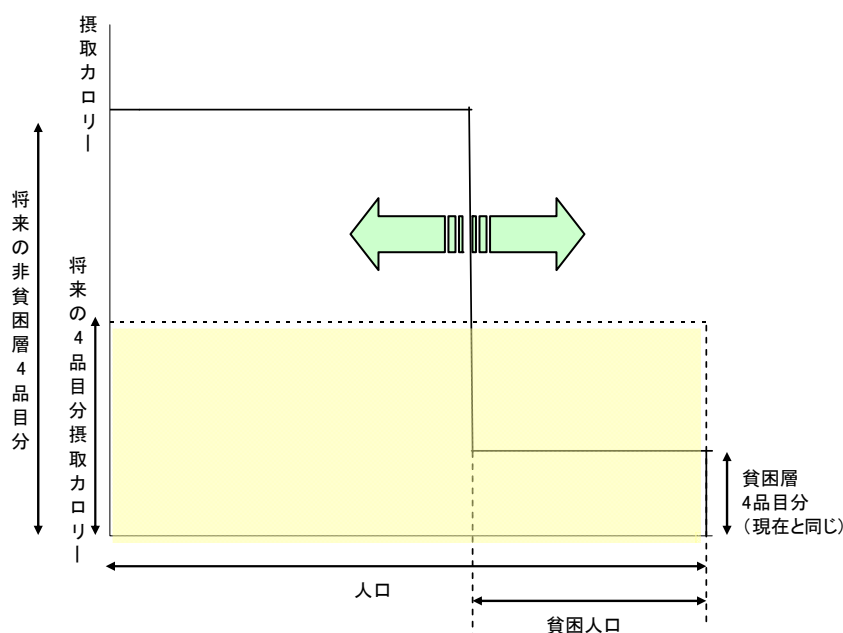
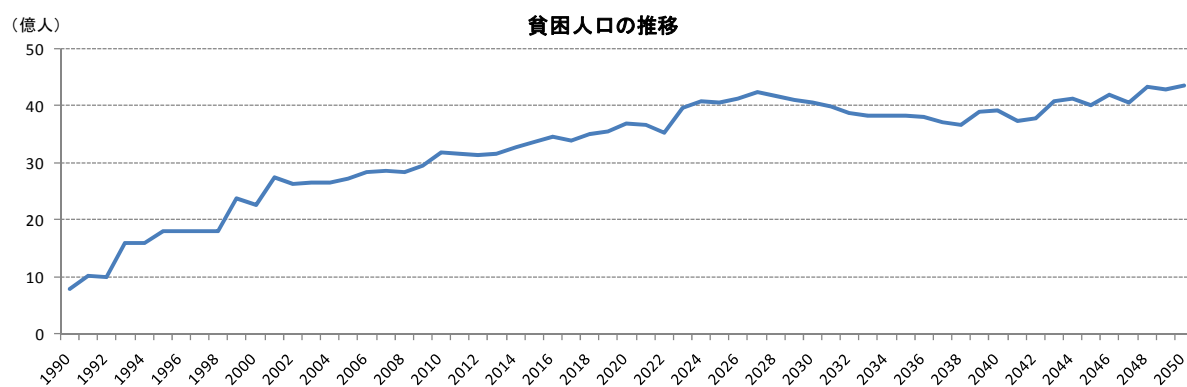


図 各国の一人あたり穀物 4 品目摂取カロリー分布のイメージ（将来予測）

2) 将来貧困人口の試算結果

基本0のケースにおける、貧困人口の推計を行った結果を以下に示す。

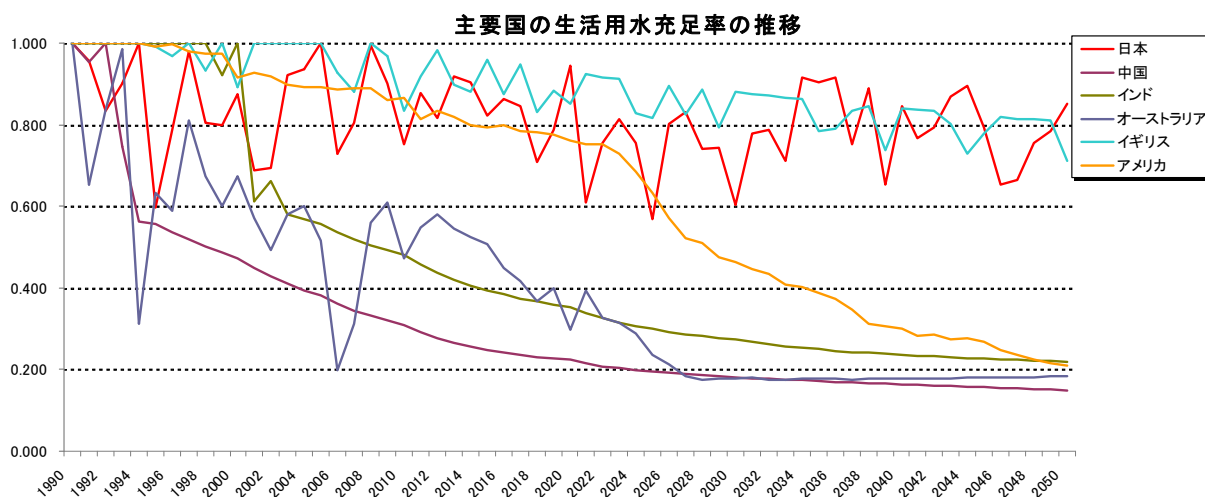


貧困人口は1990年時点の約8億人から、人口の増加に伴い広がっていく食料需給ギャップの拡大を反映して、2050年時点で約44億人に増加すると試算された。

5. 水ストレス（充足率＝1－ストレス）

気候変動モデルにより計算された、主要国における各用水の充足率（＝1－ストレス）の経年変化を以下に示す。

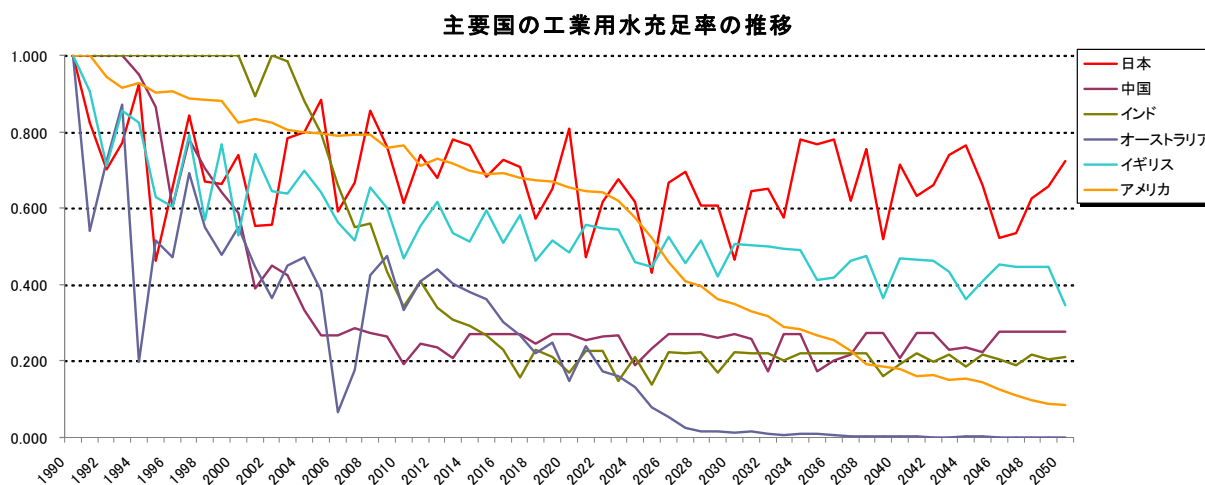
1）生活用水



各国の生活用水の充足率をみると、先進国では工業用水、農業用水の需要の増加にあわせて、ゆるやかに減少する傾向にあるが、水資源に乏しいオーストラリアではその変動が大きくでているほか、農業生産が多く農業輸出国であるアメリカでは、農業需要の増加を反映して、競合する生活用水にもしわ寄せがみられる。

また、1人当たりの生活用水量が現在非常に小さい中国、インドにおいては、急速な充足率の低下が懸念される。

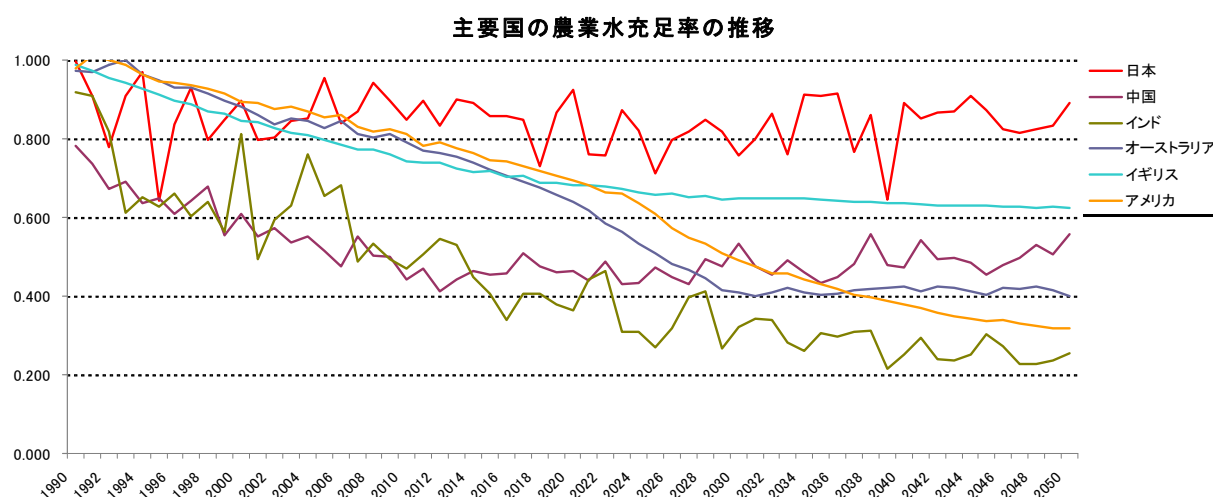
2）工業用水



各国の工業用水の充足率をみると、基本的には生活用水と同様の傾向を示し、先進国では生活用水、農業用水の需要の増加にあわせて、ゆるやかに減少する傾向にあるが、水資源に乏しいオーストラリアではその変動が大きくでているほか、農業生産が多く農業輸出国であるアメリカでは、農業需要の増加を反映して、競合する工業用水にもしわ寄せがみられる。

また、GDPの伸びとあわせて工業用水量が急速に増加する国においては、急速な充足率の低下が懸念される。

3) 農業用水



各国の農業用水の充足率をみると、穀物の主要生産国であるアメリカ、中国、インドなどでは、食料需要の増加に伴い生産量が増加し、水ストレスも増大する傾向がみられる。また、降雨の多寡によりストレスの度合いが大きく変動する傾向が認められる。

6. 考 察

今年度の「基本0」の検討結果では、昨年に比べ、穀物の需給ギャップが少なく算出されるなど、モデル改良の結果が反映されたものとなっているが、これは、相関関係の精査、利用可能水資源量設定方法の精査等による結果であり、より推計値が現実近づいたと考えられる。

生活用水については、GDPが増加し生活が豊かになるとともに、1人あたりの用水量が増加することに加え、人口増加に伴い需要が増加することからストレスが年々大きくなり、水供給が生活水準向上の阻害要因となりうることも明らかとなった。

工業用水についても、途上国の工業化に起因した用水需要の増加が顕著となり、需給バランスが逼迫しストレスが増大するとともに、主として農業用水との競合により、需給バランスが著しく逼迫する国がでることが明らかとなった。

水供給がボトルネックとなり、工業化が阻害され経済発展の妨げの要因となりかねないことが懸念される。

農業用水については、需給ギャップが拡大し生産量を増加させる必要があるものの、降雨で充足する農業生産には限界があり、用水供給による灌漑農業の充実等により生産力を向上させていく必要性が高まっていくことが明らかとなった。

加えて、全世界の貧困人口は約8億人のレベルから、約44億人へと5倍以上増加することが懸念される。これを地域別にみると、特定の人口増加国に偏在し、全世界レベルでの食料需給バランスを大きく毀損する要因ともなりかねないことが明らかとなった。

これらに有効に対処していくためには、生活、工業、農業各分野における水の安定性確保のリスクを小さくしていくことが重要であり、そのことが世界の安全・安定に貢献する一方策であると考えられる。

【基本0 a、0 b、基本1：試算結果】

以下に基本0の「新規施設対応型（ハード対策型）：0 a」及び「既存施設有効活用型（ソフト対策型）：0 b」、並びに基本1の試算結果を示す。

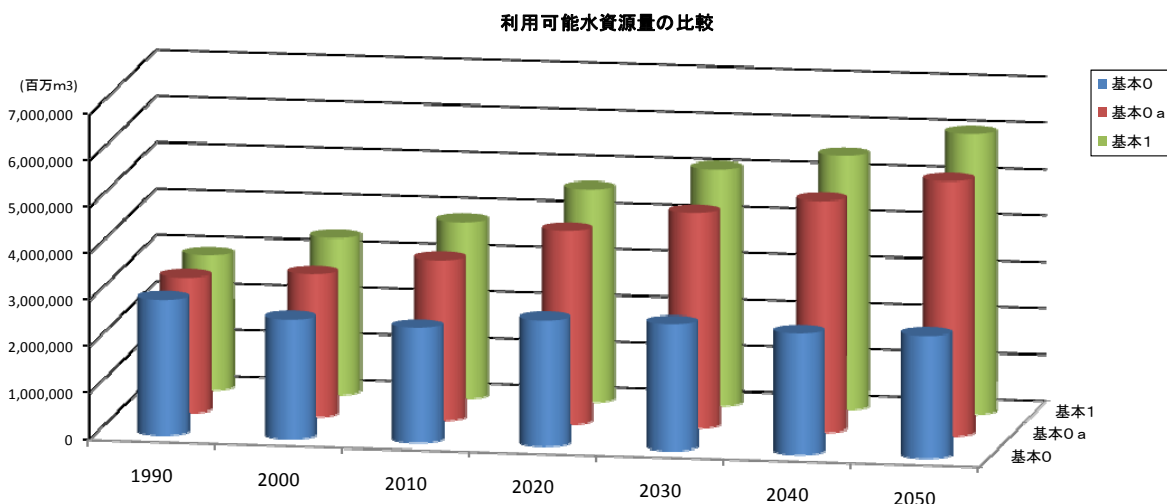
基本0 aについては、今後新規にダム等のハード施設の整備を行うことにより、水需要の増大に対応した場合について試算したものであり、基本0（既存施設依存型）との差分を比較することにより、ハード対策の効果を定量的に評価するものとする。

同様に、基本0 bでは渇水調整等のソフト施策の効果について、基本1ではハード＋ソフト対策の効果について評価することとする。

1. 利用可能水資源量の比較

基本0 a、1の試算ケースでは、1990年以降のダムの整備により、年々利用可能水資源量が増加し、基本0では無効放流となっていた水の利用が可能となる。

全世界における利用可能水資源量を1990～2050年で比較すると、以下の図のようになる。



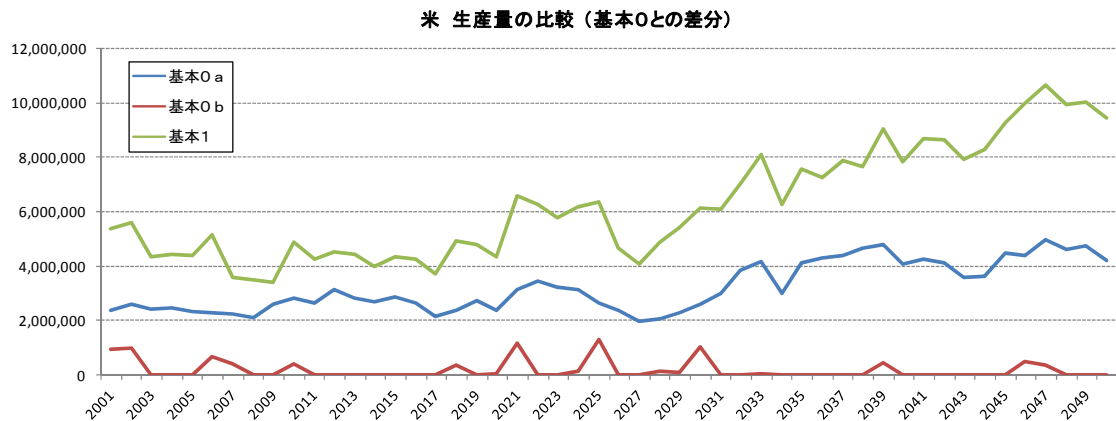
基本0の試算結果によると、穀物生産の需給ギャップは年をおって増加する傾向となるため、利用可能水資源量の増加にあわせて用水ストレスの減少が可能となり、基本0 a、1のケースでは、穀物生産量が増加するものと考えられる。

また、基本0 bのケースでは、利用可能水資源量は増加しないものの、渇水調整の実施により、渇水時の水ストレスの軽減が可能なことから穀物生産の改善が見込まれる。

2. 穀物生産量の比較

基本0 a、0 b、1 のそれぞれの試算ケースで、施策の効果を定量的に測定するため、2001 年から 50 年間の基本0 ケースとの生産量の差分を示す。

1) 米

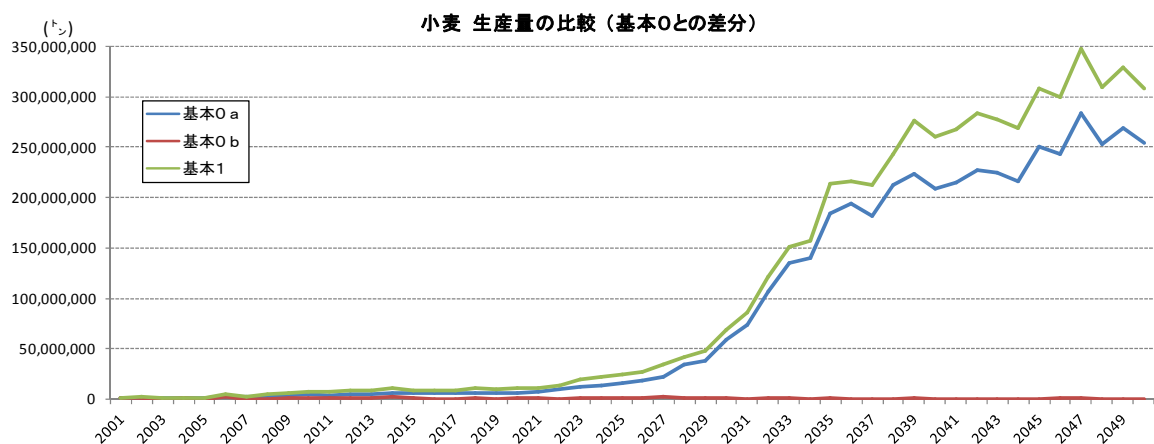


基本0 a では、ダムの整備により利用可能水資源量が増加したことにより、需給ギャップを埋めるため、基本0 と比べて 200～500 万トンの程度の生産増となっている。

基本0 b では、渇水調整を行うことにより生産の減少を回避するため、基本0 と比べて 100 万トンの程度の生産増となっている。

基本1 では、ダムの整備と渇水調整に加え、貯水池の効率的運用・活用を行うことにより、基本0 a より更に生産量の増加が見込まれるため、基本0 と比べて 400～1,000 万トンの程度の生産増となっている。

2) 小麦

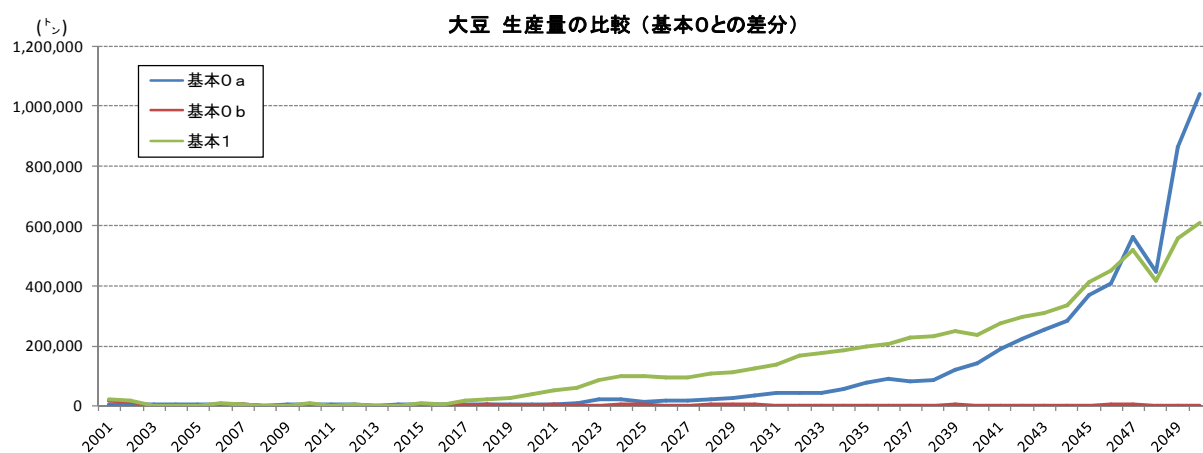


基本0 a では、ダムの整備により利用可能水資源量が増加したことにより、需給ギャップを埋めるため、基本0 と比べて最大で2 億8,000 万 t 程度の生産増となっている。

基本0 b では、渇水調整を行うことにより生産の減少を回避するため、基本0 と比べて最大で150 万 t 程度の生産増となっている。

基本1 では、ダムの整備と渇水調整に加え、貯水池の効率的運用・活用を行うことにより、基本0 a より更に生産量の増加が見込まれるため、基本0 と比べて最大で3 億5,000 万 t 程度の生産増となっている。

3) 大豆

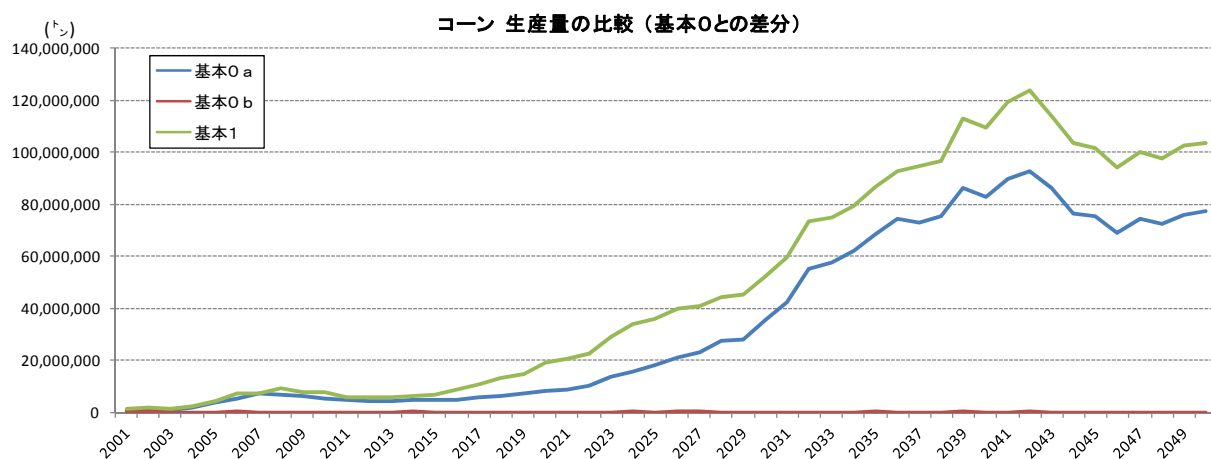


基本0 a では、ダムの整備により利用可能水資源量が増加したことにより、需給ギャップを埋めるため、基本0 と比べて最大で100 万 t 程度の生産増となっている。

基本0 b では、渇水調整を行うことにより生産の減少を回避するため、基本0 と比べて最大で1.5 万 t 程度の生産増となっている。

基本1 では、ダムの整備と渇水調整に加え、貯水池の効率的運用・活用を行うことにより、基本0 a より更に生産量の増加が見込まれるため、基本0 と比べて最大で60 万 t 程度の生産増となっている。

4) コーン



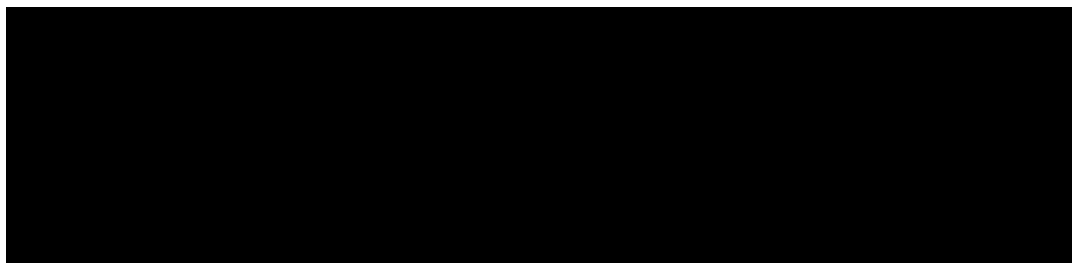
基本0 a では、ダムの整備により利用可能水資源量が増加したことにより、需給ギャップを埋めるため、基本0 と比べて最大で9,000 万トンの生産増となっている。

基本 0 b では、渇水調整を行うことにより生産の減少を回避するため、基本 0 と比べて最大で 35 万トンの生産増となっている。

基本 1 では、ダムの整備と渇水調整に加え、貯水池の効率的運用・活用を行うことにより、基本 0 a より更に生産量の増加が見込まれるため、基本 0 と比べて最大で 1 億 2,000 万トンの生産増となっている。

3. 総穀物生産増加量の比較

基本 0 と比較した、2001 年から 50 年間の総穀物生産量増加分は、下表に示すとおり。

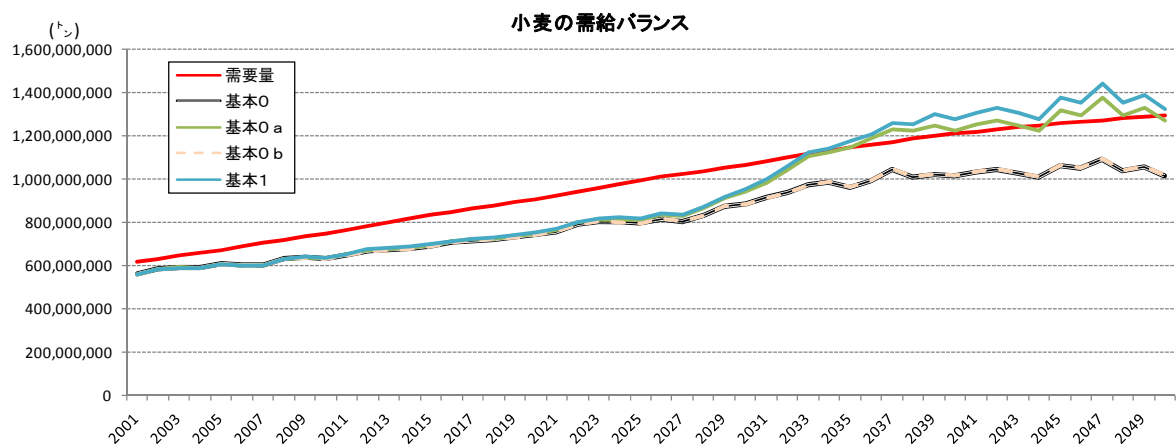


基本0 bは、渇水時の生産減少には有効に作用するが、人口増加等による需要の増大に有効に対処しようとするれば、基本0 aによるハード整備が必要なことがわかる。

また、基本1では、基本0 aで整備された貯水池を有効活用することにより、利用可能水資源量を1割程度増加させる効果を有するが、実際の穀物生産の増加量をみると、それ以上の増加効果が期待できることがわかる。

4. 需給ギャップ

それぞれの検討ケースにおける、需要量と生産量のバランスについて検討するため、小麦の需給バランスを以下に示す。



小麦については、基本0 bについては需給ギャップを大きく改善するには至らなかったが、基本0 a、1の各ケースでは検討年度の後半で、よく需要に追随し生産量を上げる結果となった。

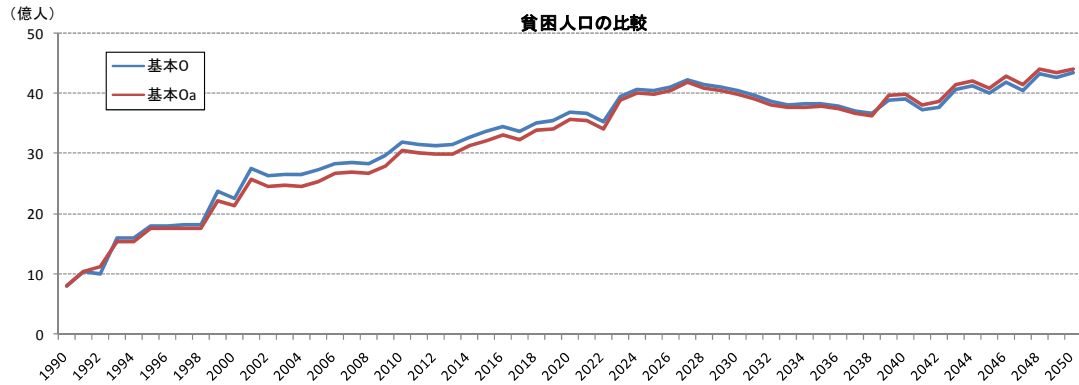
しかしながら、水需給ギャップ改善のために行った各施策を実施した結果においても、なお需給ギャップは埋まっていない品目もある。

2050年時点で、米、コーンで需要量に対する生産量の割合は約5割、大豆では約2割と、需要に対して十分な供給には至っていない。

このことは、更なる水資源開発の必要性、品種改良等による農業分野における生産性の向上や、節水努力による水需要抑制策等の必要性を示唆しているものと言える。

5. 貧困人口

基本0の貧困人口の試算結果と、ハード対策を実施した場合の基本0aの試算結果を以下に示す。



試算を行った結果は、基本0の60年間の年平均貧困人口は約33.2億人であるのに対し、基本1aでは約32.5億人と、年あたり約7千万人の貧困人口が軽減される結果となった。

また、貧困人口の経年的な推移をみると、基本0よりも基本0aが貧困人口の発生をわずかながら緩和するが、食料需給ギャップが無くならないことから、貧困人口は増加が続くことが明らかとなった。

6. 考 察

主要4品目とも、基本0に比べ基本0 a、0 b、基本1の生産量は、需要の増大に併せて生産量は増加していることがわかる。

ソフト対策型の基本0 bの効果は、基本0 aに比べ極めて限定的ではあるものの、渇水時の有効な水需要抑制方策であり、農業生産量確保のために有効な方策であることが明らかとなった。

ハード対策型の基本0 aについては、ダム等の貯留施設の効用により無効放流を減少させ、水利用可能量を増加させかんがい水利の安定化を図ることから、農業用水ストレスを大幅に改善し、生産の安定化に大きく寄与している。

人口やGDPの増加に伴う需要増に対応した、最も基本となる対策であることが明らかとなった。

また、基本1については、ハード対策によるベースとなる生産量確保に加え、渇水時にも有効に機能し、最も効果的な対策であることが明らかとなった。

ハード、ソフトの対策を行った結果を「基本0」ケースと比較すると、需給ギャップはそれぞれ改善され、穀物需要の増大に対応して生産量が向上していることがわかるが、なお、人口増に対応した生産の確保は困難であること、生活水準の向上や途上国の経済発展の阻害要因となることが明らかとなった。

我が国は、戦後の都市化の進展等に併せて、水資源開発を着実に実施し、農業生産性の向上や生活用水、工業用水等都市用水の需要の増加に応じてきたが、頻発する渇水のもと渇水調整を実施し、水資源を効果的に利用する調整も行ってきた。

また、近年では、水系内の貯留施設を効率化するための統合運用や、施設の再開発、水系間を連絡する導水路等を整備し、貯留水の安定化を図るなど、施設の立地特性や気象特性を踏まえた高度な取り組みが行われるようになってきた。

こうした取り組みは、他国のシステムに比して効果的であり、特に途上国等人口、GDPの急速な増加を、有効にサポートするシステムと言えよう。

今後、水需給が世界的に逼迫することが予測されるなか、我が国の水資源開発、利用システムをそうした国々に技術移転していくことは、我が国が果たしうる大きな貢献策となりうると考えられる。

【基本 1、1 a、1 b：試算結果】

以下に水配分シナリオ基本 1「主産業先取り型」、1 a「渇水調整途上型」、1 b「均等配分型」の試算結果を示す。

基本 1 については、工業国、農業国で水配分に劣後の関係が生じることから、農業用水や工業用水に極端なストレスが生じることとなる。

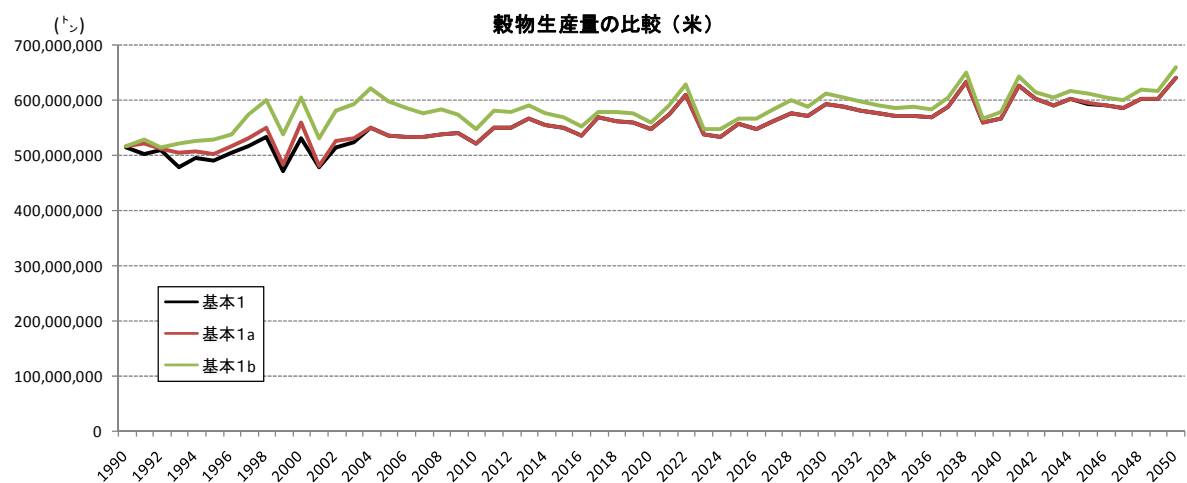
一方、基本 1 b では渇水時の渇水調整が可能となり、極端なストレスの発生は生じない（基本 1 a は両者の中間型）。

水配分のルールの設定により、農業生産、生活用水、工業用水の都市用水への影響の度合いについて評価することとする。

1. 主要 4 品目穀物生産量

基本 1、1 a、1 b の各試算ケースにおける穀物生産量の経年変化を品目別に示す。

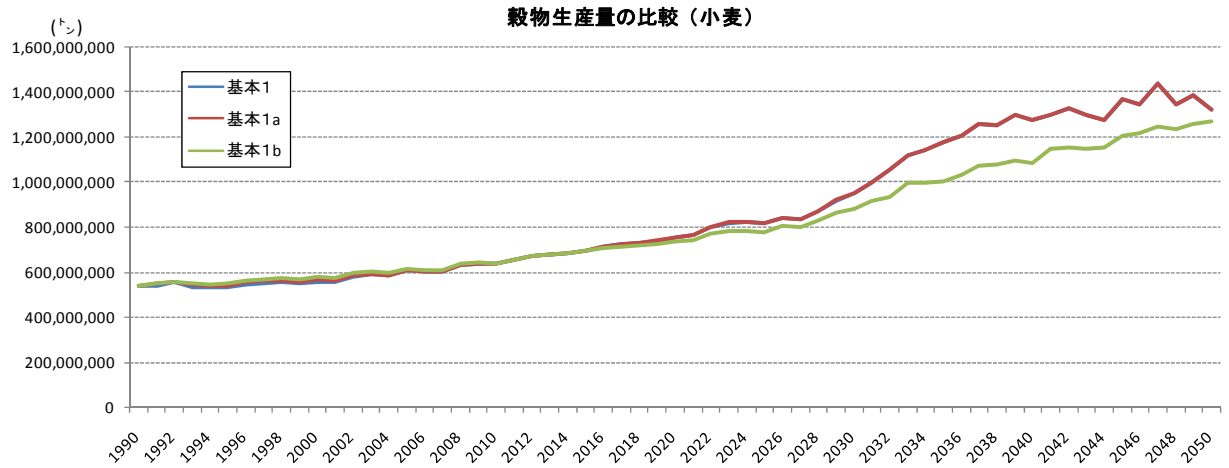
1) 米



米の主要生産国である中国、インドは工業国として分類されているが、これらの国で劣後となっていた農業用水が、基本 1 a、1 b のケースで改善された結果、米の生産量を押し上げる結果となった。

しかしながら、上記の国では人口増が顕著であり、需給バランスが逼迫する検討年度後半では、その効果は限定的となっている。

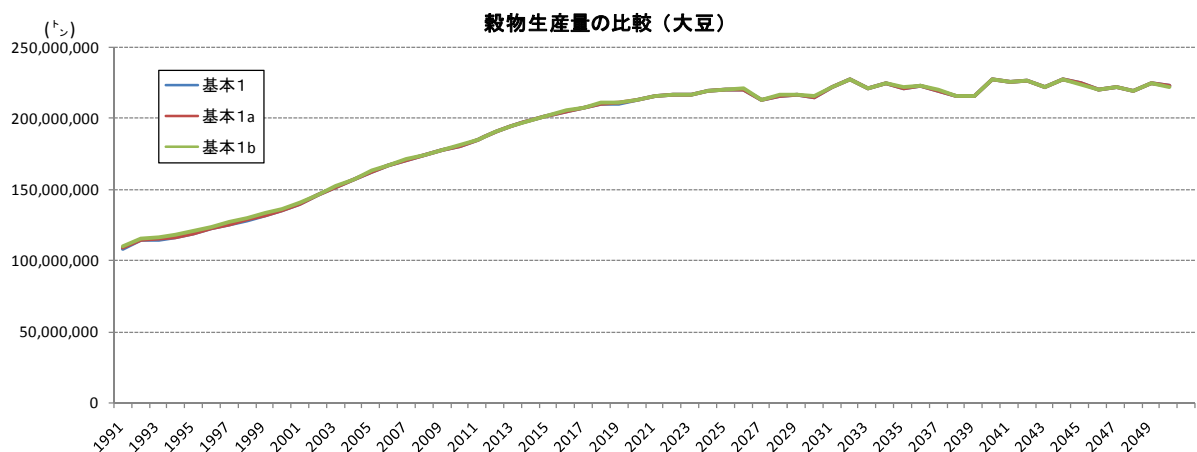
2) 小麦



農業国においては、基本1、1aのケースでは、農業用水に優先的に水配分されることとなっているが、基本1bのケースでは生活用水、工業用水と按分されるため、農業用水の供給量を減ずる方向に作用する。

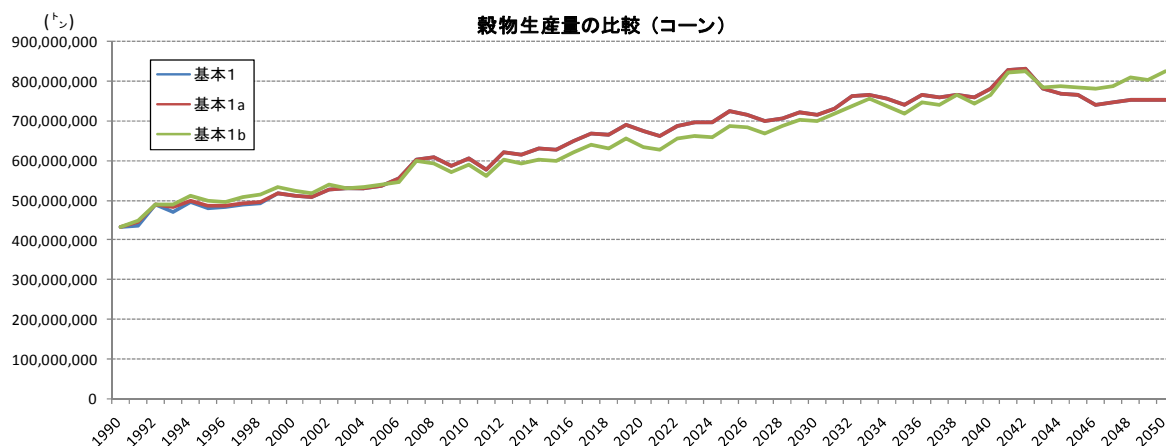
基本1bの計算結果をみると、人口、GDPの伸びにより増加する生活用水、工業用水に対する水需給が逼迫し、中央アジアや東欧の国で、検討年度後半で小麦の生産量を押し下げる結果となった。

2) 大豆



大豆に関しては、基本1、1a、1bの各ケースとも、生産量には大差ない結果となった。

4) コーン

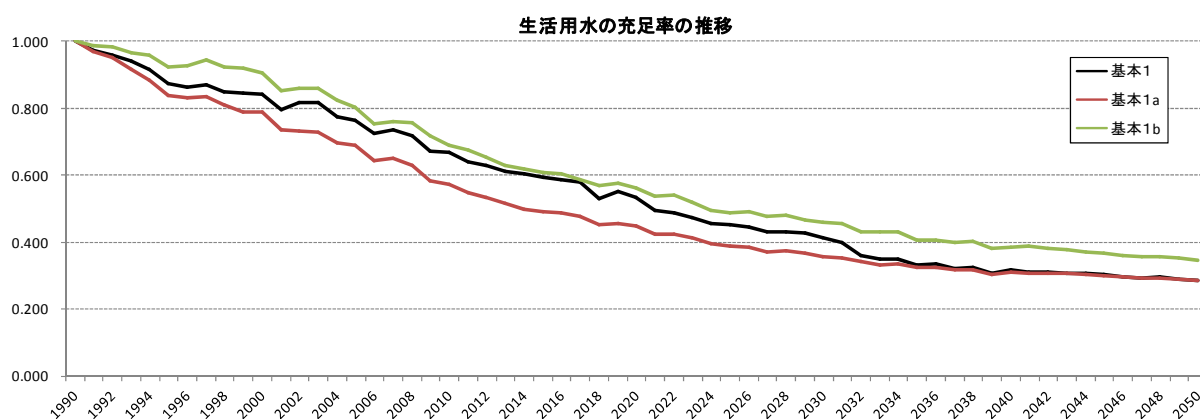


コーンでは主要生産国であるアメリカが先進国に分類されていることから、検討各ケースでの用水配分に大きな変動は認められないが、中国、インド等の工業国やその他の農業国の影響で、生産量の変動がみられる結果となった。

2. 生活・工業用水量の変化

基本1、1a、1bの各試算ケースにおける生活用水、工業用水の充足率の経年変化を示す。

1) 生活用水

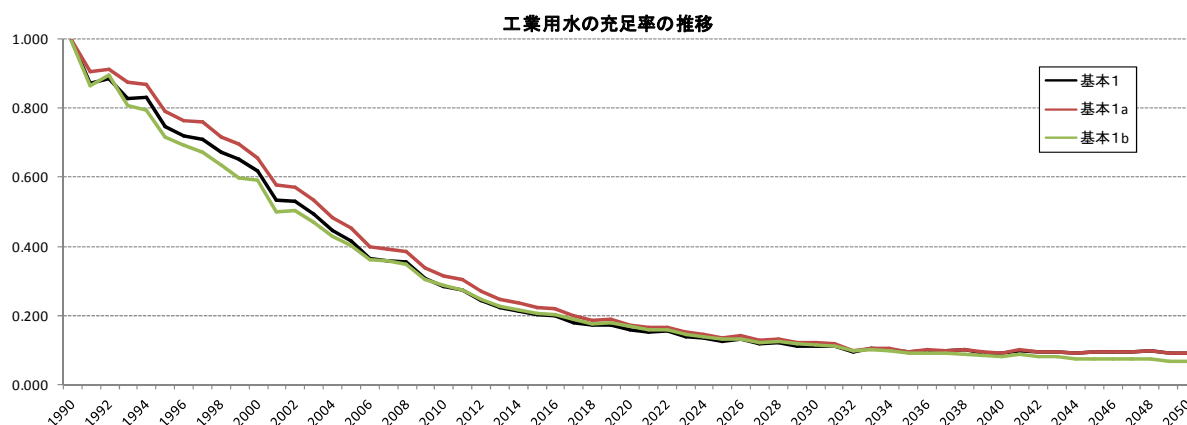


生活用水は人口の増加に伴い需要が大きくなる部分と、生活水準の向上に伴い1人あたりの必要水量が大きくなる部分がある。従って、人口、GDPが増加すれば、需給バランスが崩れ生活用水が逼迫することとなる。

試算の結果をみると、均等配分型の1 b のケースでは、工業国、農業国で優先的に配分されていた工業・農業の各用水が按分されることにより、生活用水の充足率が若干向上している。

しかしながら、年次の経過とともに充足率が低下していくという傾向は変わらず、用水確保のための抜本策が必要となる。

2) 工業用水



工業用水は、GDPの増加に伴う工業生産の進展とあわせて増加する。特に、現在農業国となっている途上国が経済発展する場合、その伸びが顕著となり工業用水が逼迫することとなる。

試算の結果をみると、均等配分型の1 b のケースでは、工業国の工業用水の優先配分が各用水に按分されるため、工業用水の充足率が若干低下している。

しかしながら、年次の経過とともに充足率が低下していくという傾向は変わらず、用水確保のための抜本策が必要となる。

3. 考 察

生活・工業・農業の各用水の配分について試算した結果、ケース 1 b の均等配分型は、需給ギャップが生じている米、小麦の生産を押し上げる方向に働くとともに、工業用水は若干低下するものの、生活用水の向上がみられることから、最もバランスのとれた配分方策であると考えられる。

また、利用可能水資源の各用水別の配分にあたっては、各国の産業構造などの特性によりまちまちであるが、人口の増加、生活水準の向上、工業化の進展をバランス良く達成していくためには、その特性に応じた効率的な水配分を行っていくことが重要である。

特に、渇水時の水利用は極端なしわ寄せが生じることによる弊害を、極力避けることが賢明な方策と考えられることから、国情を踏まえた調整のあり方を整理し、実施していくことが肝要といえる。

しかしながら、用水配分では拡大する需給ギャップを埋めるまでにはいたらず、右肩下がりの傾向は変わらないことから、用水の絶対量を確保する方策が、将来へ向けて不可欠と考えられる。

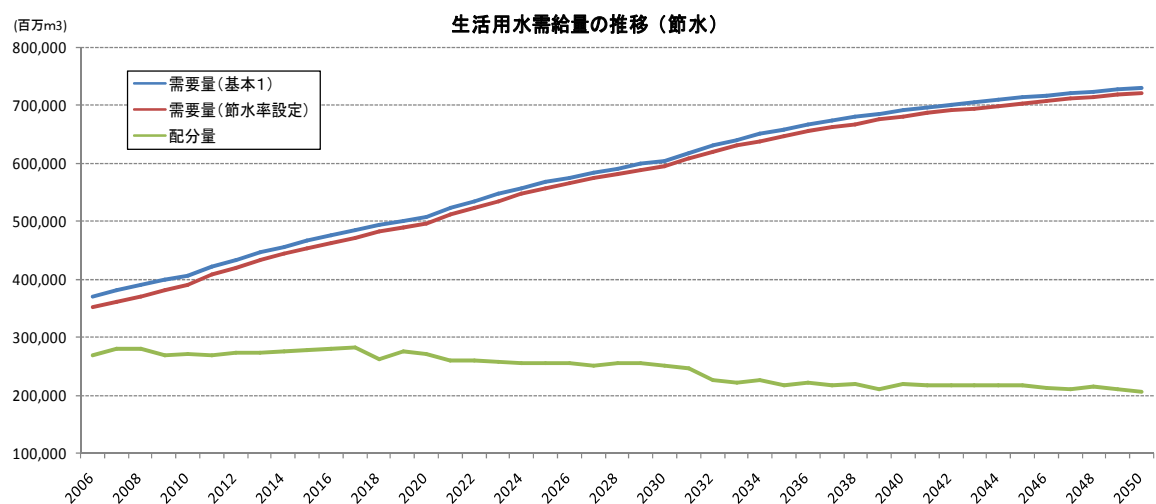
【感度分析：節水率】

先進国においては、生活用水の需要が大きくなる傾向があり、国によっては芝生への散水等、平常時においては豊かな水利用がなされているのが実態である。

一方で、最低限必要な生活用水との間にはなお余裕があることや、節水型の機器の開発等により、生活水準を維持したまま水需要量を低減することも可能となってきた。

これらを踏まえ、先進国、工業国で生活用水の需要量を上限 20%低減した場合の感度分析を行った。

生活用水に係る節水率の設定を開始した 2006 年から 2050 年までの 45 年間の試算結果を以下に示す。



試算の結果、節水率の設定により、生活用水需要量が低減し、生活用水の充足率がわずかではあるが向上していることがわかる。

節水の効果により減少した生活用水需要量は、計算期間の 45 年間で約 5,200 億 m^3 、年あたりに換算すると約 116 億 m^3 となり、この量が他の用水へ融通可能となった。

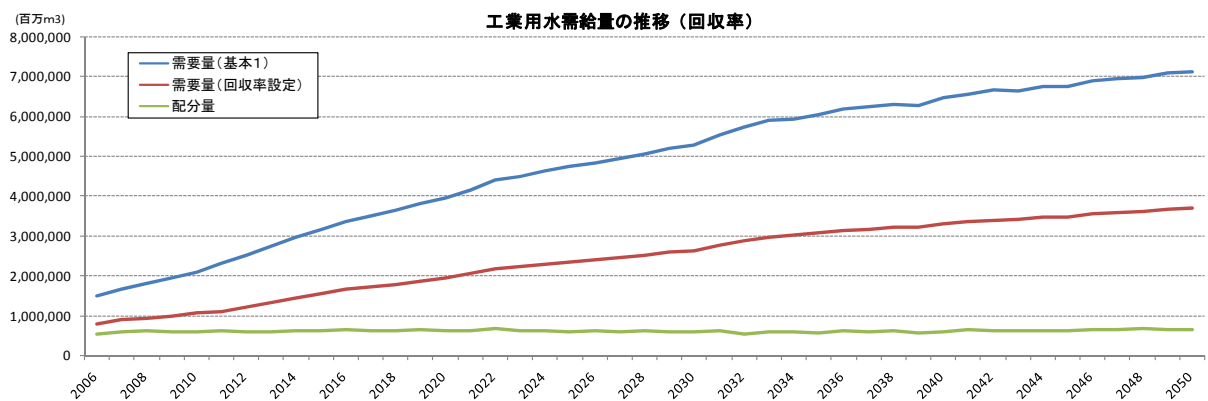
しかしながら、生活用水の需給ギャップを埋めるまでには至らず、ベースの水需要に対応するためには、利用可能水資源量を増やす、水資源開発等の施策の実施が不可欠であることが明らかとなった。

【感度分析：回収率】

水資源の豊富な地域への工業立地にあたっては、ストレスの発生は限定的となるが、将来の水使用量の増加、地下水の規制等による水資源の不足等に対し有効に対処するためには、回収水に頼らざるを得ない状況も想定される。

このため、先進国、工業国において、工業用水の回収率を最大限上げた場合（多消費型産業：90%、その他：40%）の水需給に与える影響について感度分析を行った。

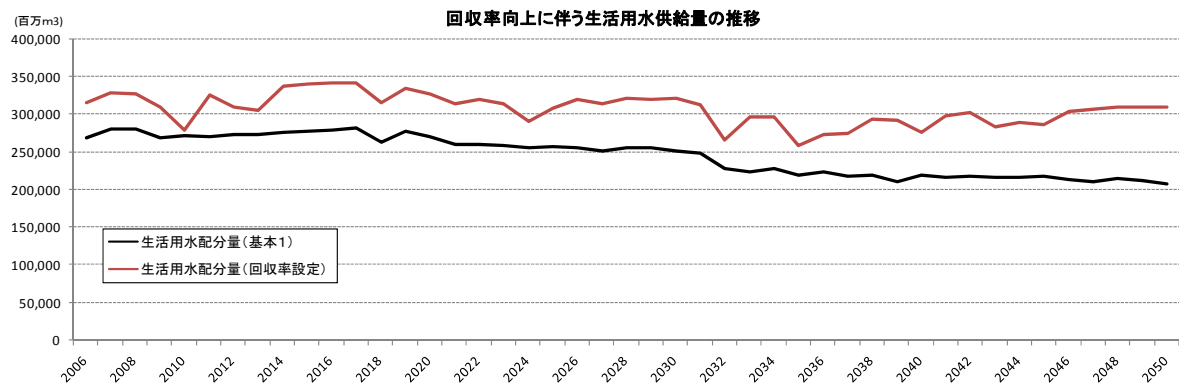
工業用水の回収率の設定を開始した 2006 年から 2050 年までの 45 年間の試算結果を以下に示す。



試算の結果、回収率の設定により、工業用水需要量が低減し、工業用水の充足率が大きく向上することがわかった。

回収率向上の効果により減少した工業用水需要量は、計算期間の 45 年間で約 108 兆 m^3 、年あたりに換算すると約 2 兆 4,000 億 m^3 となり、この量が他の用水へ融通可能となった。

以下で、この需要が減った工業用水が、生活用水へ配分された際の効果について示すこととする。



回収率向上による工業用水需要の減少により、生活用水へ新たに配分されることとなる供給量は、計算期間の45年間で約2兆8,000億 m^3 、年あたりに換算すると約620億 m^3 となる。

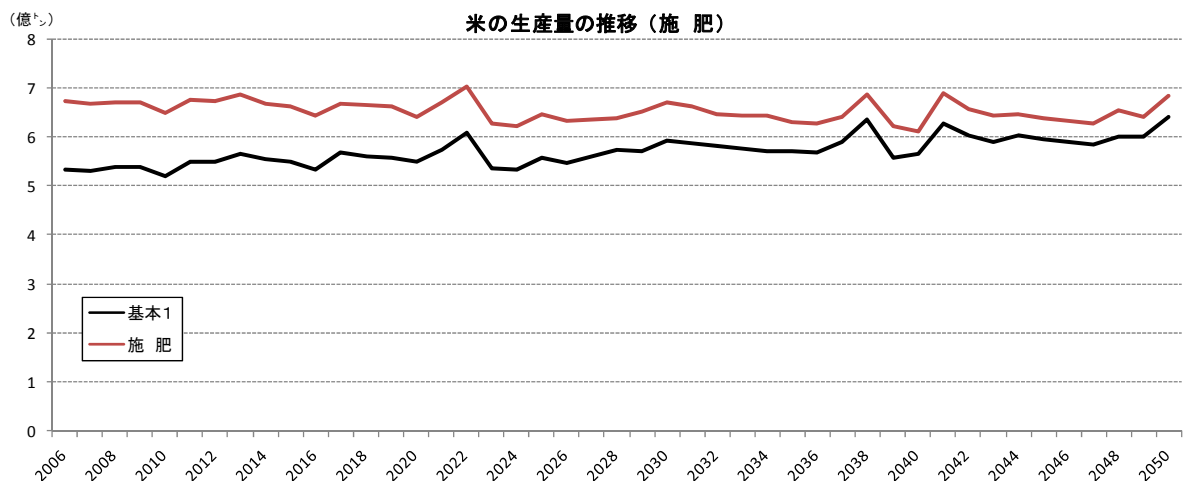
この量は、年平均の生活用水供給量である約2,500億 m^3 の約1/4に相当する量であり、需給ギャップを大きく改善する効果が期待できる。

【感度分析：施 肥】

農業生産性の向上にあたっては、圃場や水路の整備とあわせて施肥による効果も期待される。途上国においては経済的な制約から、施肥等が十分実施されていない場合も多く、経済発展に伴い単収の向上が見込める場合も考えられる。

このため、途上国において、施肥投資が行われたと仮定して農作物の単収が上限値まで向上した場合を想定し感度分析を行った。

施肥による単収の設定を行った 2006 年から 2050 年までの 45 年間の米の生産量についての試算結果を以下に示す。



施肥の投入が穀物生産量の増加に寄与する割合は大きく、試算を行った米の供給量は、計算期間の 45 年間で約 81 兆 5,000 億ト、年あたりに換算すると約 1 兆 8,000 億ト増加し、需給ギャップの改善に有効であることが明らかとなった。

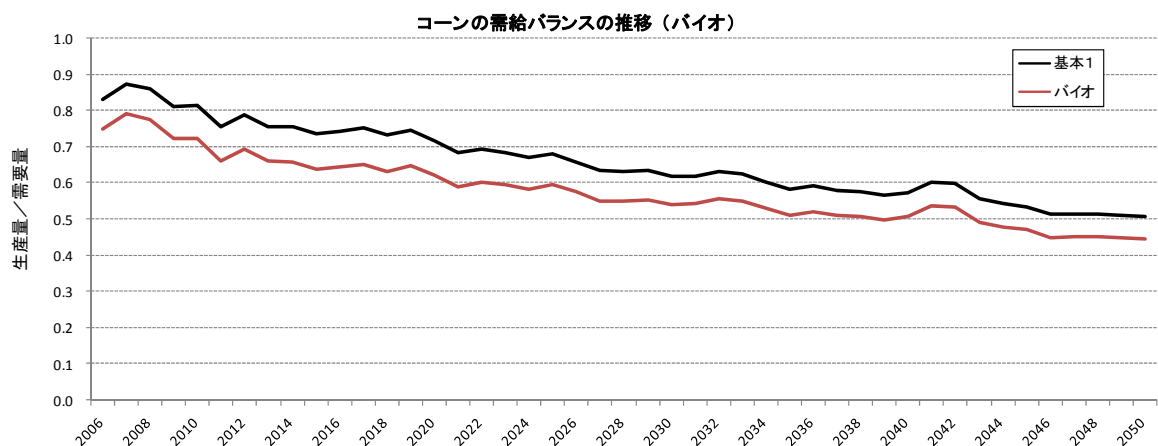
しかしながら、降雨ストレスや農業用水ストレスが大きくなった場合、生産量は大きく毀損することから、ベースの水需要に対応した水資源開発等の施策とあわせて農業基盤の整備や適切な施肥の実施が有効であることが明らかとなった。

【感度分析：バイオ燃料】

近年、原油価格の高騰等により、穀物由来のバイオ燃料に脚光が当てられているが、一方で、食料や飼料に利用される穀物需要を圧迫する要因としても懸念されているのが実態である。

このため、今回検討する主要4品目の穀物のうち、米国のコーンを対象に現在計画されているバイオ燃料に生産が回された場合を想定して感度分析を行った。

以下で2006年から2050年までの45年間、アメリカで生産されたコーンのうち、年間9,000万トンのバイオ燃料に利用されるとして試算した結果を示す。



試算の結果、バイオ燃料にコーンが利用されることにより、需給ギャップを8%程度押し下げ、コーンの需給に少なからぬ影響を及ぼすことが明らかとなった。

特に、コーンは家畜の飼料用穀物としての利用が多く、肉類の生産に影響が及ぶことが懸念される。

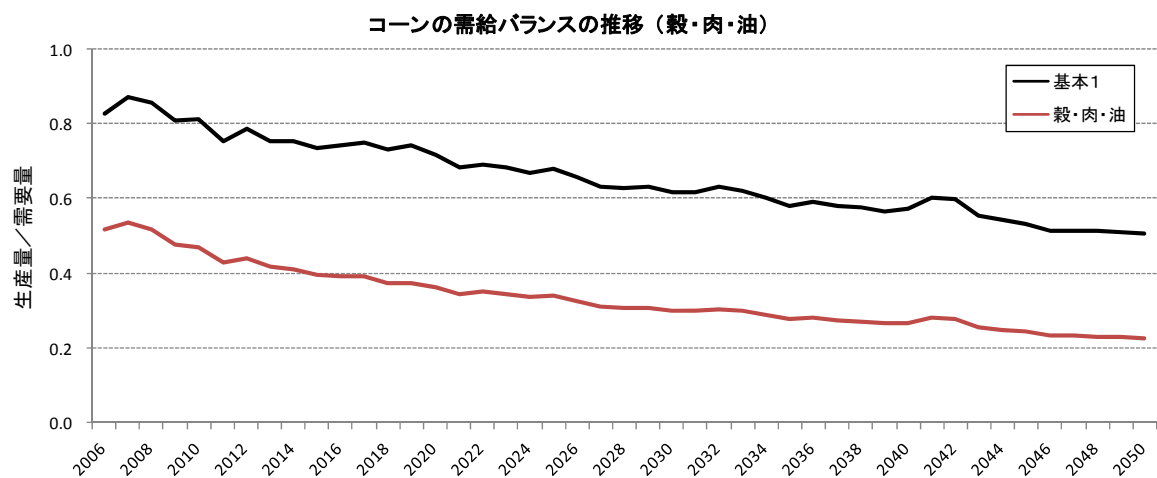
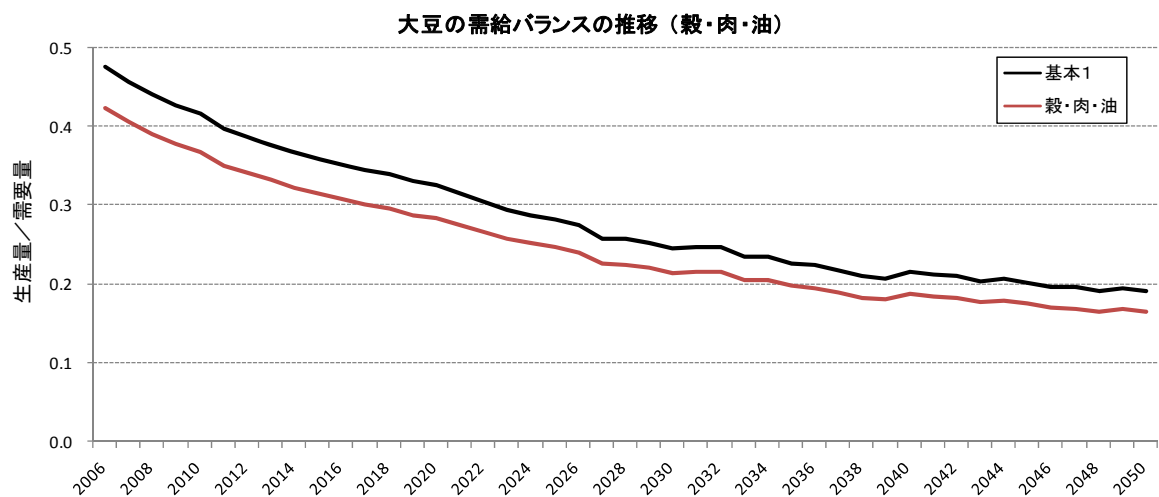
しかしながら、有休耕作地の活用や芯茎の利用等、既存の需給バランスに影響を与えずに燃料生産を行うことも考えられ、今後の動向を注視する必要があると考えられる。

【感度分析：穀・肉・油比率】

食料消費動向の内訳をみると、経済発展に伴い穀物需要が増加するが、一定の水準に達した時点から、摂取カロリーの内訳が変化し、穀物から肉類・油類に転換していく傾向が認められる。

肉類の生産を行うためには、直接摂取する場合の8倍の穀物量が必要となるなど、トータルの摂取効率が低下する。

このため、主たる飼料用穀物であるコーンと、主たる植物性油として利用される大豆について、途上国が一定の経済成長を達成した場合、これらの需要が大きく増加することを想定し感度分析を行った。



試算の結果、植物油の需要が拡大することにより、食料用大豆の需要量が増大し、需給ギャップを3%程度押し下げ、大豆の需給に少なからぬ影響を及ぼすことが明らかとなった。

また、肉類の需要が拡大することにより、飼料用コーンの需要量が増大し、需給ギャップを3割程度押し下げ、コーンの需給に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。

特に、影響の度合いの大きいコーンは、家畜の飼料用穀物としての利用が多く、コーンの価格上昇に影響を及ぼすことに加え、肉類生産の隘路となることが懸念される。

特に、人口増加の割合が大きい途上国でこのような変化が生じた場合、需給ギャップは著しく拡大し、生産量を飛躍的に伸ばす必要がある。