

気候変動による世界の水資源量変化予測モデル

0. 検討の流れ

生活用水、工業用水、農業用水及び穀物量についてストレスの大きさを評価し、各ストレスの大きな国の分布や偏在を確認するため、水資源利用可能シナリオ及び水配分シナリオを設定し、検討を行う。

今年のシミュレーションケース一覧（案）

	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 穀物生産 温度、CO2 、日照
			水需要の抑制		穀物生産量の増加		穀物需要の増加		
			節水率	回収率	施肥	遺伝子	穀・肉比率	バイオ燃料	
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10%)	×	×	×	×	×	×
感度 b	最大利用型	基本配分型	×	○ (上限50%)	×	×	×	×	×
感度 c	最大利用型	基本配分型	×	×	○ (文献調査中)	×	×	×	×
感度 d	最大利用型	基本配分型	×	×	×	×	○ (文献調査中)	×	×
感度 e	最大利用型	基本配分型	×	×	×	×	×	○ (文献調査中)	×

1. 水資源利用可能シナリオ（改良-1）

利用可能水資源量を確保するためには、ハード対策（ダム建設等）とソフト対策（渇水調整、貯水容量の活用、統合運用等）が考えられる。本来であれば、ハード対策およびソフト対策は双方を融合させ、最適な施策を導き出すべきであるが、各々の効果を明らかにするため、ハード対策およびソフト対策単体での施策効果も算定できるよう、以下のとおりシナリオを設定する。

	水資源利用可能シナリオ	施設等条件	条件設定の考え方	具体的数値の導き方
基本0	既存施設依存型 (無施策型)	現況施設	現況のハード施設を前提として、これ以上の対策(ハード・ソフト)を行わないケース	現状
基本0 a	新規施設対応型 (ハード対策型)	現況施設 + 新規ダム (ハード対策)	従来のペースでハード対策を継続するケース	近年のダム建設トレンドで設定
基本0 b	既存施設有効活用型 (ソフト対応型)	現況施設の有効活用 (ソフト対策)	現況のハード施設を前提として、に既存施設の活用、渇水調整等ソフト対策を行うケース	渇水調整、統合運用の効果を設定
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+有効活用 (ハード対策+ソフト対策)	ハード対策とソフト対策の双方を融合した「ベストミックス」で対応すると仮定	基本0の結果から設定

2. 水配分シナリオ（改良-2）

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する。

	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0 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	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	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	

※ 「生存のための生活用水」は先取りする。(50リットル/人・日)
 ※ ①～④の順で先取りする。

3. さらなる施策の考え方（改良-3 (1) ~ (5)）

さらなる施策実施が可能な国を対象に設定する。

3- (1) 節水率

先進国では、芝生への散水等、常時豊かに水利用がなされていることから、節水が可能である。

途上国は、生存のための生活用水確保が先決で余裕が無い。

施策	施策の考え方	条件設定の考え方	具体的数値
節水率	水道が普及している国で実施される	節水機器メーカーの事例等から生活用水需要量に対して設定	対象：先進国・工業国 値：上限 20%

設定値は、日本における節水機器の現状と今後の普及想定から算定

3- (2) 回収率

必要な水資源の確保が可能な国（地域）に工場が立地可能である。なお将来、使用水量の増加、水資源の不足等により、回収水に頼らざるを得なくなった場合に回収率向上への投資が可能となると考えられる。

施策	施策の考え方	条件設定の考え方	具体的数値
回収率	経済力があり、水資源利用可能量が不足しい国で実施される	日本の工業用水回収率の実績から工業用水需要量に対して設定	対象：先進国・工業国 値：多消費型 90% その他 40%

設定値は、日本における回収率の実績から算定

3- (3) 施肥

先進国は、すでに施肥による単収の増加が図られている。

途上国は、肥料の購入が可能な経済力に達した国から施肥による単収の増加が図られると考えられる。

施策	施策の考え方	条件設定の考え方	具体的数値
施肥	発展途上国で施肥投資可能な国で実施される	施肥量と単収の関係を整理し、設定	対象：途上国 値：70, 000hg/ha

設定値は、先進国における単収の実績から算定

3- (4) バイオ燃料

今後、バイオ燃料は増加することが考えられるため、穀物由来のバイオ燃料について、文献調査等から需要量を設定する。

施策	施策の考え方	条件設定の考え方	具体的数値
バイオ燃料	各国のエネルギー計画等の政策が策定されている国で実施される	文献等から、需要量を仮定	対象：バイオ燃料推進国 値：上位 90 百万ト 中位 50 百万ト

設定値は、各国にバイオ燃料への取り組みうち、対象 4 品目に係わる量を算定

3- (5) 穀・肉比率

消費食料の動向をみると、経済発展に伴い穀物需要が増加するとともに、肉食の比率が増加する傾向にある。穀物需要の増加については、生活の豊かさ（GDP）と穀物需要の相関で折込済であるが、食肉に使用される穀物量が大きいことから、途上国において肉食への移行が進む場合を設定する。

施策	施策の考え方	条件設定の考え方	具体的数値
穀・肉比率	発展途上国で肉食への移行が促進された場合	先進国並みの需要量を設定	対象：途上国 値：2. 45kg/人・日

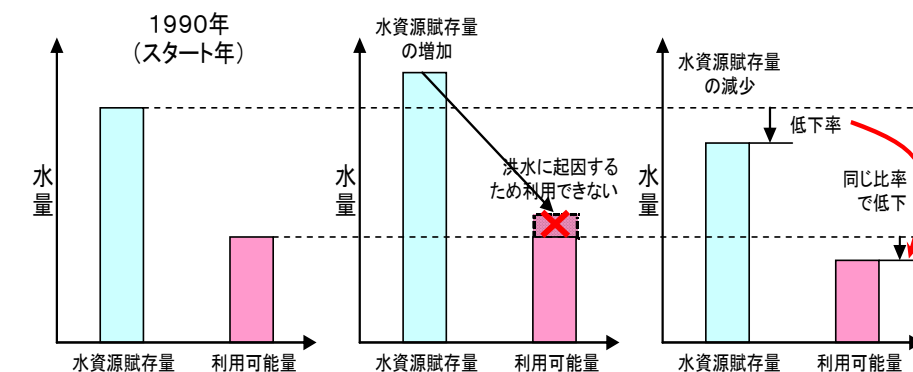
設定値は、日本、中国等の実績から急激に穀物比率が低下した実績から算定

4. 利用可能水資源量の考え方

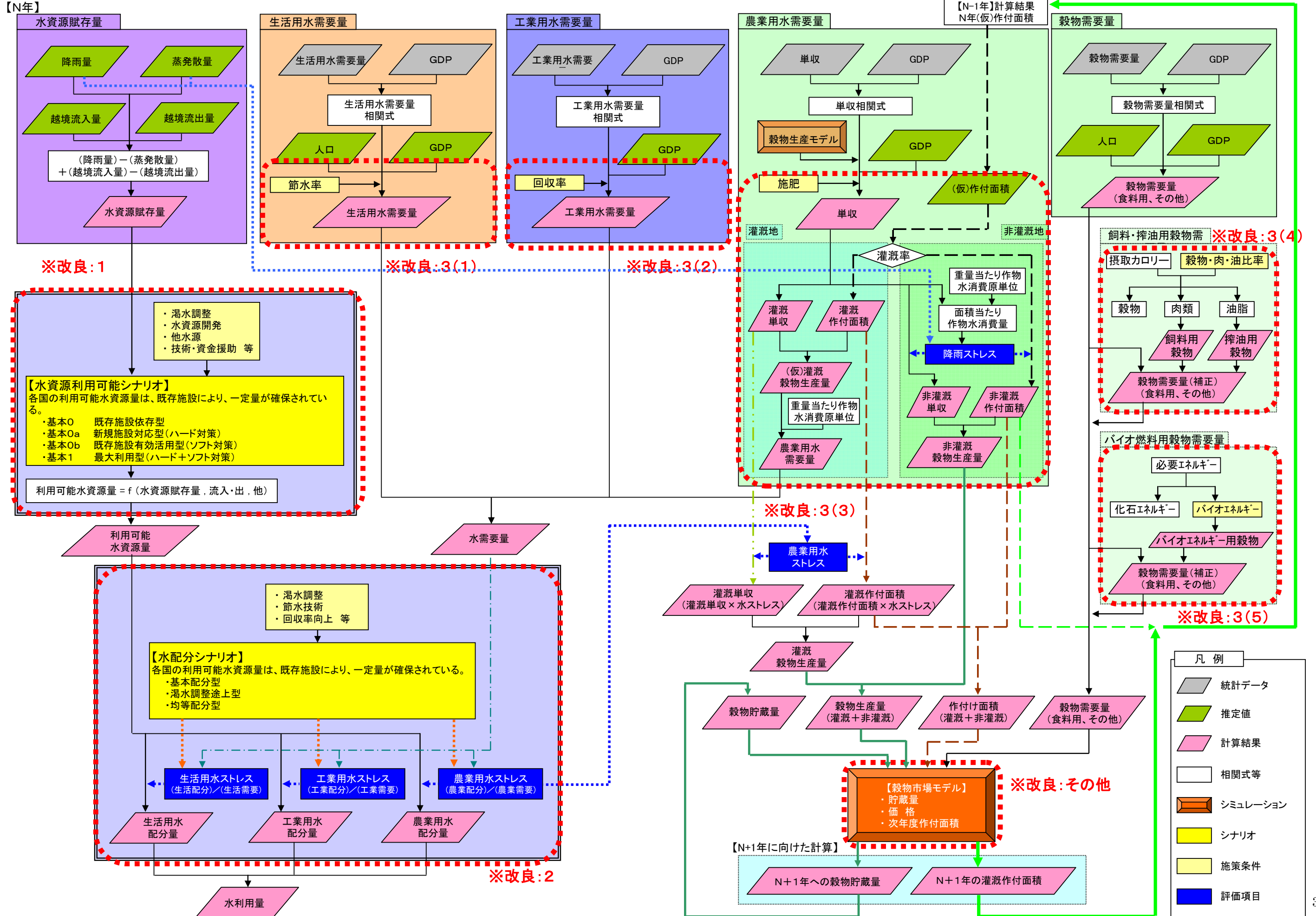
昨年度の検討では、水資源賦存量の増減に対して、利用可能水資源量も一定割合で増減すると仮定して水資源の供給量を算定していた。このことは、本来利用不可能な洪水時の水も利用可能し、過大な条件設定となりがねないため、是正を行った。

今年度の検討においては、各国の年平均水資源賦存量以上の水資源賦存量を洪水時の増加量とすることで、この増加分は利用不可能と見なし利用可能水資源量を増加させないこととした（ただし、新規にダムを建設する場合、利用可能量は貯水容量に応じて増加）。

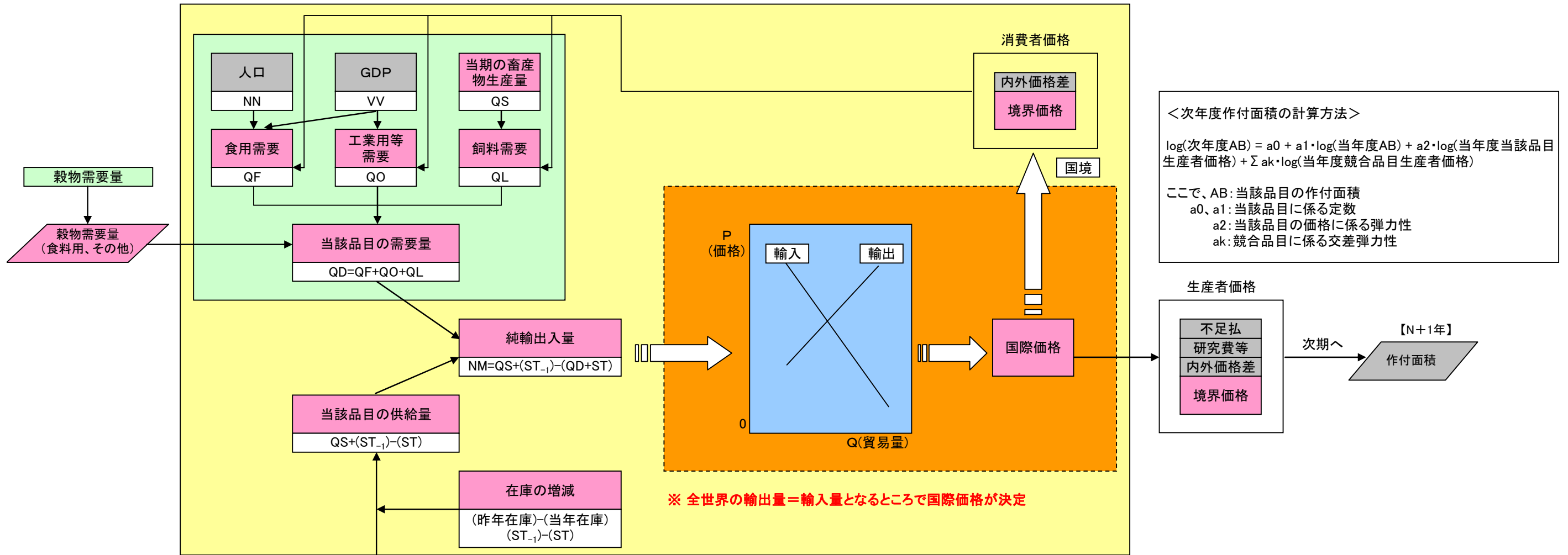
一方、各国の平均水資源賦存量以下の水資源賦存量の減少は、水資源賦存量の減少と同じ比率で利用可能水資源量が減少するとして推計することとした（下図参照）。



気候変動による世界の水需給量変化予測検討モデル 概略計算フロー図 (施策条件によるストレスを最小にするための検討フロー)



穀物市場モデル(IFPSIM) 概略計算フロー図
(International Food Policy Simulation Model)



<次年度作付面積の計算方法>

$$\log(\text{次年度AB}) = a_0 + a_1 \cdot \log(\text{当年度AB}) + a_2 \cdot \log(\text{当年度当該品目生産者価格}) + \sum a_k \cdot \log(\text{当年度競合品目生産者価格})$$

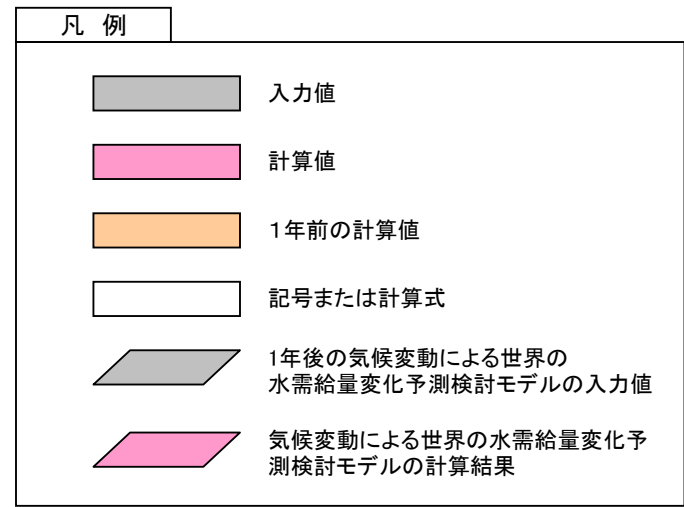
ここで、AB: 当該品目の作付面積
 a_0, a_1 : 当該品目に係る定数
 a_2 : 当該品目の価格に係る弾力性
 a_k : 競合品目に係る交差弾力性

「利用可能水資源量」と「水需要量」との判定より

穀物生産量(QS)
(灌漑+非灌漑)

IFPSIMモデルの地域区分

大分類	中分類	国地域区分	大分類	中分類	国地域区分
先進国	-	1 アメリカ	発展途上国	中南米	11 メキシコ
		2 EC12			12 ブラジル
		3 日本			13 アルゼンチン
		4 その他西欧			14 その他の中南米
		5 カナダ		15 ナイジェリア	アフリカ
		6 オーストラリア		16 その他アフリカ	
		7 ニュージーランド		17 エジプト	中近東
		8 その他先進国		18 その他の中近東	
		9 東欧		19 インド	アジア
		10 旧ソ連		20 パキスタン	
	21 バングラデシュ				
	22 インドネシア				
	23 タイ				
	24 マレーシア				
	25 フィリピン				
	26 シンガポール				
	27 韓国				
	28 中国				
	29 その他東アジア				
その他	-	30 その他発展途上国	その他	-	31 その他世界
計		32 世界計			



【参考資料】さらなる対策の考え方について

3- (1) 節水率

全国 16 自治体で実施した「節水機器の事例調査結果」(水利用合理化推進協議会)を参考に設定する。

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

項目	節水前使用水量(L)	節水率(量)	現在の節水効果		将来の節水効果	
			普及率H11	節水後使用量	普及率	節水後使用量
炊事	調理	100		100		100
	洗い	100	80%	96	60%	52
	小計	200		196		152
洗濯	256	50%	50%	192	100%	128
トイレ	88	20%	20%	84	60%	77
風呂	336	200L	1.70%	333	1.7%	333
洗面・その他	120	20%	10%	118	55%	107
合計	1000			923		797
節水率			7.7%		20.3%	

4 人家族の水使用量は、現況で 1,000 L → 923 L、将来は更に 797 L になると推定され、将来の節水率は 20.3% となる。

先進国・工業国の節水率を 20% として、水ストレスの感度分析を行う。

(参考) 節水機器の事例調査から抜粋

1 節水機器の普及状況の把握

① 普及率の現状

メーカーの調査データをもとに節水機器の普及状況を推計したものは表 9 のとおりです。
節水型洗濯機については、現在ではおよそ 60% を越える普及率と考えられます。一方、食器洗乾燥機及び 24 時間風呂の普及率は低い状況となっています。

表 9 水使用機器普及状況

機器	普及率(平成11年度)	1~2年の間に購入予定	全国普及台数
1.節水型洗濯機	50.0%	12.7%	4,100万台
2.食器洗乾燥機	5.3%	5.0%	280万台
3.24時間風呂	1.7%	1.0%	50万台
4.温水洗浄便座	43.4%	7.7%*	800万台

*)家庭用のみ

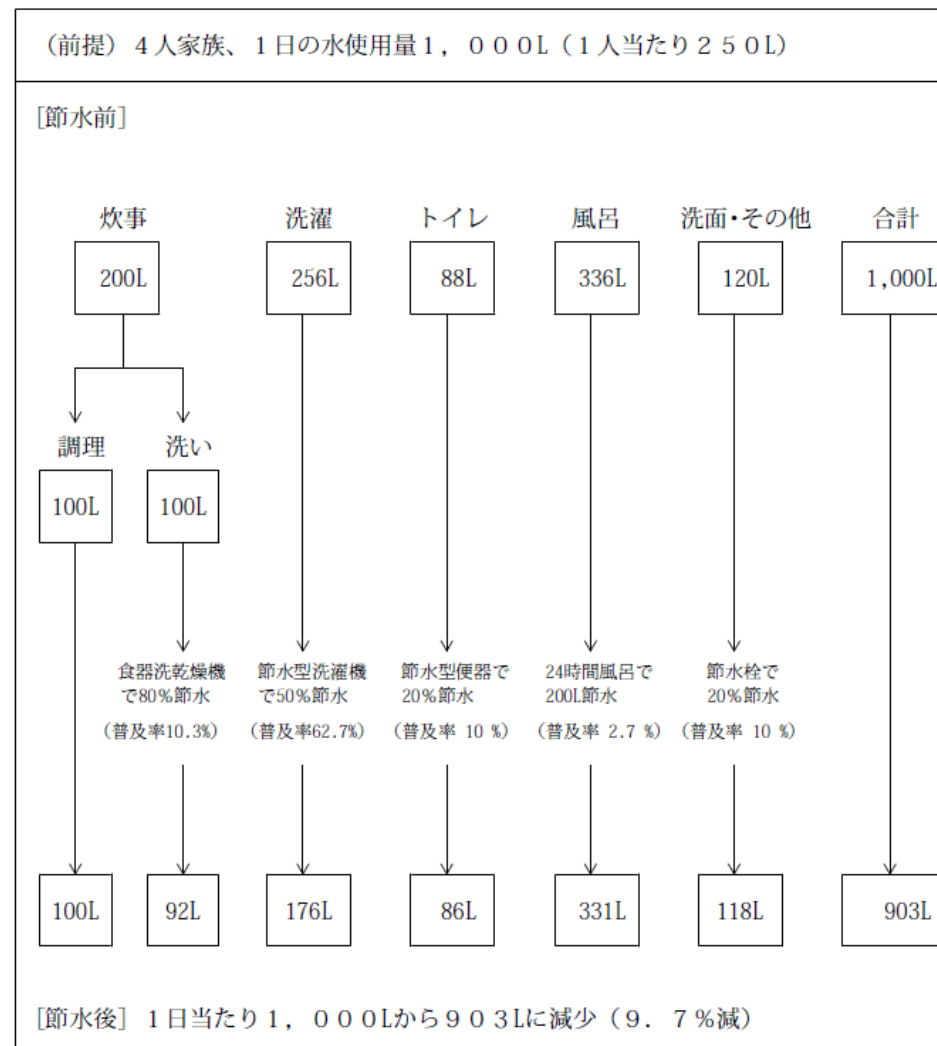
(節水機器普及後の水使用量：用途別に計算)

$$\text{用途別水使用量} = \text{節水機器普及率} \times \text{節水機器使用時の水使用量} + (1 - \text{節水機器普及率}) \times \text{節水機器使用前の水使用量}$$

注)・節水型洗濯機、食器洗乾燥機、24時間風呂の普及率は表 9 を用いて試算しています。
・トイレ、洗面・その他の節水機器普及率は、それぞれ 10% の普及率と設定して試算しています。

4 人家族で 1 日当たり 1,000L であったものが、節水後は、903L (9.7% 減) になると推定されます。

図 2 節水機器が普及した地域の水使用量の変化



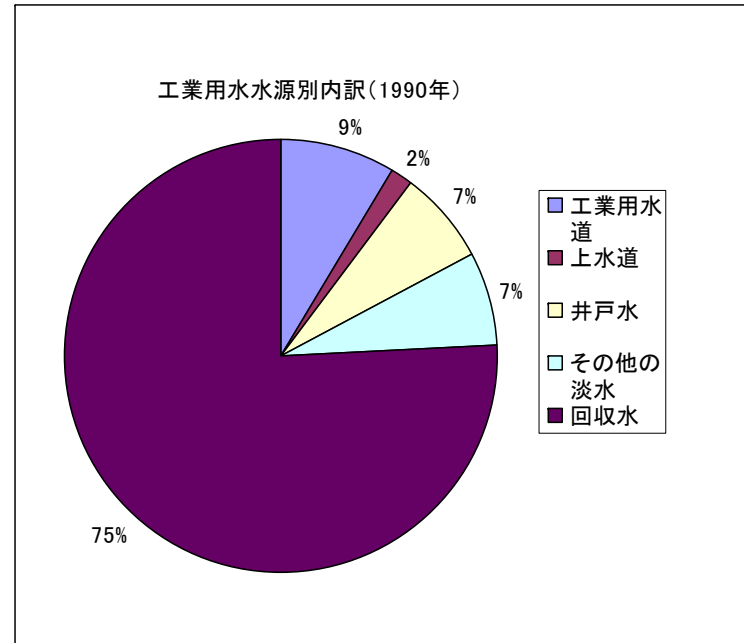
※ 24 時間風呂：レジオネラ菌でのマイナスイメージが影響して普及率は足踏み状態であるが、高齢世帯の増加、自由時間の増大など、普及の要素はある。しかし、その傾向は不明である。

3- (2) 回収率

日本では、水多使用業種（化学、鉄工、パルプ、機械）の回収率は約 80%と高い値を示している（パルプ等は約 40%）。また、その他の業種では回収率が約 6 割程度となるものの、全業種合計では、淡水使用水量のうち、回収水が約 7 5 %と高い割合を占めている。

業種別回収率(日本)

業種	淡水使用量 (m3/day)	回収水 (m3/day)	回収率 (%)
化学工業	46,258,157	37,656,225	81.40%
鉄工業	37,837,671	34,007,674	89.88%
パルプ等	15,768,575	6,833,638	43.34%
輸送機械	12,260,007	11,338,026	92.48%
電気機械	5,424,267	3,902,911	71.95%
一般機械	1,764,493	1,178,858	66.81%
精密機械	282,254	140,720	49.86%
小計	119,595,424	95,058,052	79.48%
石油製品	6,971,972	6,149,686	88.21%
食料品	4,200,192	1,602,315	38.15%
窯業等	3,515,710	2,517,349	71.60%
繊維工業	3,177,395	656,444	20.66%
非鉄金属	3,017,197	2,148,642	71.21%
プラ製品	2,335,414	1,429,957	61.23%
飲料等	1,174,473	347,927	29.62%
ゴム製品	1,090,437	832,665	76.36%
金属製品	1,062,762	483,455	45.49%
出版等	209,153	111,741	53.43%
木材等	71,988	11,382	15.81%
衣服等	67,506	386	0.57%
家具等	56,579	6,456	11.41%
なめし革	24,766	1,224	4.94%
武器製造	9,281	3,696	39.82%
その他	183,058	99,529	54.37%
小計	27,167,883	16,402,854	60.38%
合計	146,763,307	111,460,906	75.95%



工業統計 (1990年全業種計)

回収率の設定については、先進国・工業国で水ストレスが発生している国・地域に対し、水多使用産業で**最大 90%**、その他産業で**最大 40%**の回収率を設定し、感度分析を行う。

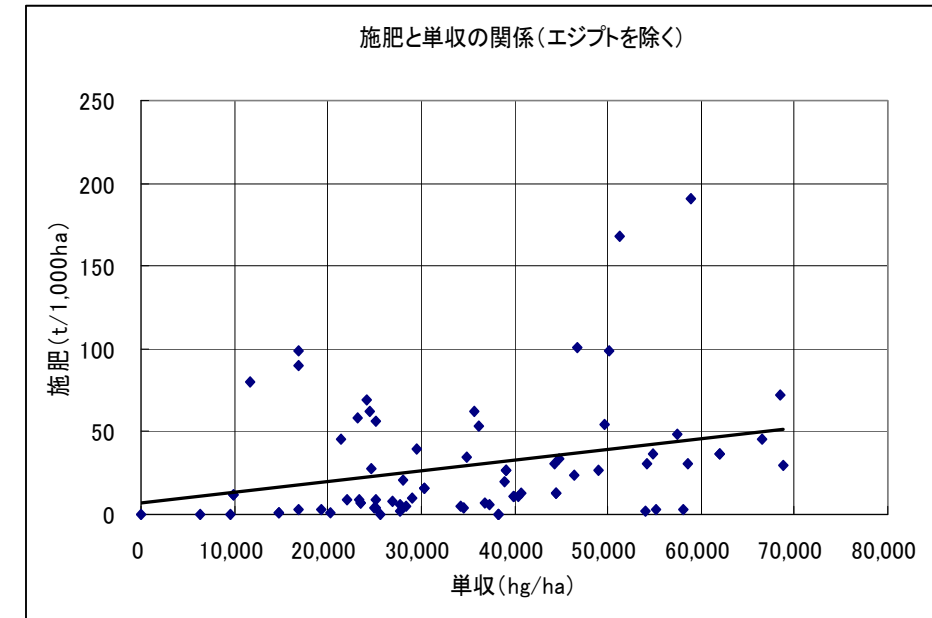
国名	発展レベル	単位	データ年次	水多使用工業				全工業合計	全工業に占める割合	工業用水回収率
				製紙	化学	鉄鋼	機械			
Algeria	産油国								40%	
Argentina	途上国								40%	
Australia	先進国	百万豪州ドル	2005	8,891	27,347	0	14,984	317,091	16.2%	48%
Bangladesh	途上国									40%
Brazil	市場経済移行国	十億リアル	2005	36,836	143,960	72,540	293,561	1,132,491	48.3%	64%
Bulgaria	市場経済移行国	百万レフ	2003	458	1,503	1,201	2,896	19,794	30.6%	55%
Canada	先進国	カナダドル	2002	35,182	48,248	14,541	195,534	584,038	50.3%	65%
China	市場経済移行国	十億元	2005	504	2,867	2,540	9,685	27,457	56.8%	68%
Egypt	途上国									40%
Finland	先進国	百万ユーロ	2005	12,292	5,945	5,593	38,690	103,112	60.6%	70%
France	先進国	百万ユーロ	2005	17,282	103,143	20,013	295,043	871,342	50.0%	65%
Germany	先進国	百万ユーロ	2005	30,988	133,346	44,726	647,356	1,451,465	59.0%	70%
Greece	先進国	百万ユーロ	2004	879	2,632	2,245	4,667	43,880	23.8%	52%
India	市場経済移行国	百万ルピー	2004	226,968	1,089,147	1,862,763	3,489,233	16,206,086	41.1%	61%
Indonesia	市場経済移行国	十億ルピア	2005	68,226	110,066	62,129	174,178	1,088,682	38.1%	59%
Italy	先進国	百万ユーロ	2005	17,935	69,425	32,075	228,154	830,676	41.8%	61%
Japan	先進国	十億円	2005	7,065	24,958	14,611	138,464	295,747	62.6%	71%
Netherlands	先進国	百万ユーロ	2005	5,521	45,052	4,365	39,963	228,640	41.5%	61%
Poland	市場経済移行国	百万ズウォティ	2005	14,644	45,218	20,743	156,120	627,685	37.7%	59%
Republic of Korea	市場経済移行国	十億ウォン	2005	14,743	82,152	61,195	436,718	912,763	65.2%	73%
Romania	市場経済移行国	百万レイ	2005	2,058	9,921	12,729	36,157	174,114	35.0%	57%
Russian Federation	市場経済移行国	百万ルーブル	2005	181,696	987,215	1,118,389	1,558,945	10,610,914	36.2%	58%
South Africa	市場経済移行国	十億ランド	2005	43	134	79	232	1,023	47.8%	64%
Spain	先進国	百万ユーロ	2005	11,170	40,420	15,975	110,615	457,602	38.9%	59%
Sweden	先進国	百万クローネ	2005	115,753	133,240	89,441	574,475	1,552,424	58.8%	69%
United Kingdom	先進国	百万ポンド	2005	10,755	45,314	9,173	130,551	436,013	44.9%	62%
United States of America	先進国	百万米ドル	2005	162,848	607,053	107,232	1,560,778	4,735,384	51.5%	66%

データ出典: International Yearbook of Industrial Statistics 2006~2009, United Nations, Industrial Development Organization

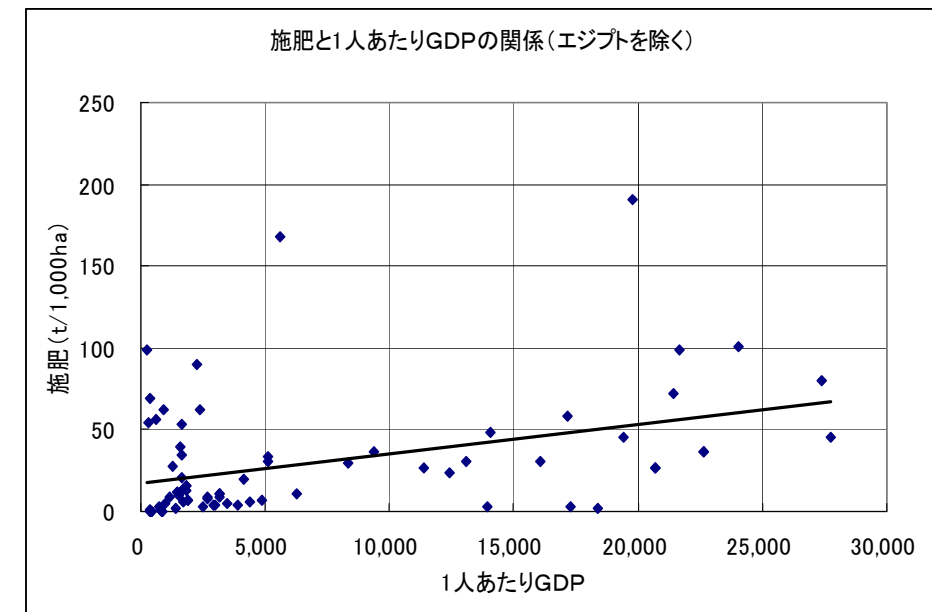
回収率=水多使用工業の割合×90%+(1-水多使用工業の割合)×40%

3- (3) 施肥

単位面積当たりの施肥量と単収との関係は下図のように整理できる。このため、施肥により単収が増加する傾向があることが認められる。



単位当たり施肥量と 1 人あたり GDP の関係について整理すると下図のとおりである。このため、1 人あたり GDP が高いと施肥量も増加する傾向が認められる。

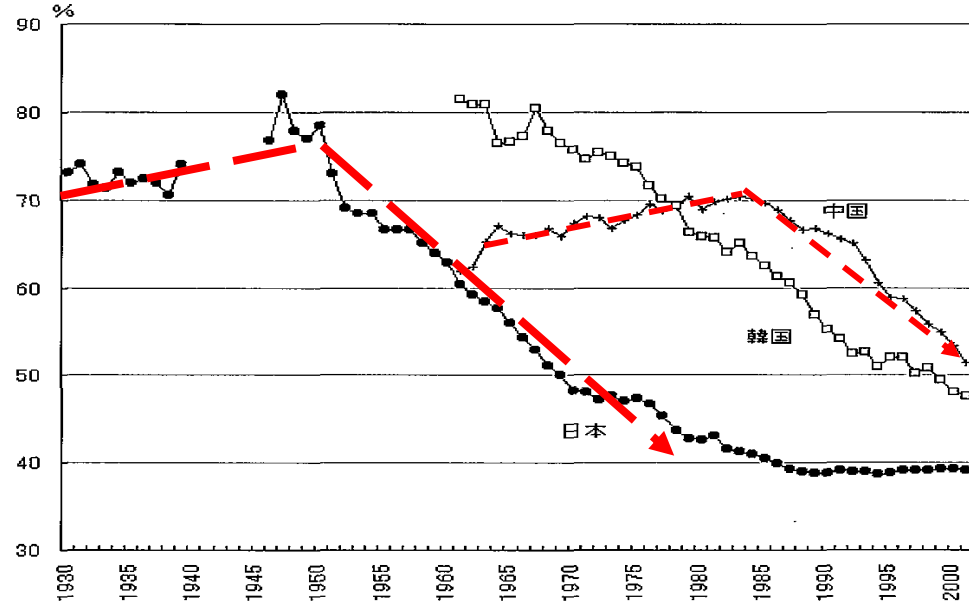


以上の傾向から、施肥による単収の増加は、**最大の 70,000hg/ha** として、単収の増加による、水ストレスと穀物需給ストレスの感度分析をする。

3- (4) 穀・肉比率

食料消費の内訳をみると、生活の豊かさが増大（経済発展）することに伴い、暫くは穀物摂取が増加するものの、肉の摂取割合が増加し、摂取カロリーに占める穀物比率が低下する傾向にあることが認められる。

供給カロリーに占める穀物比率の推移

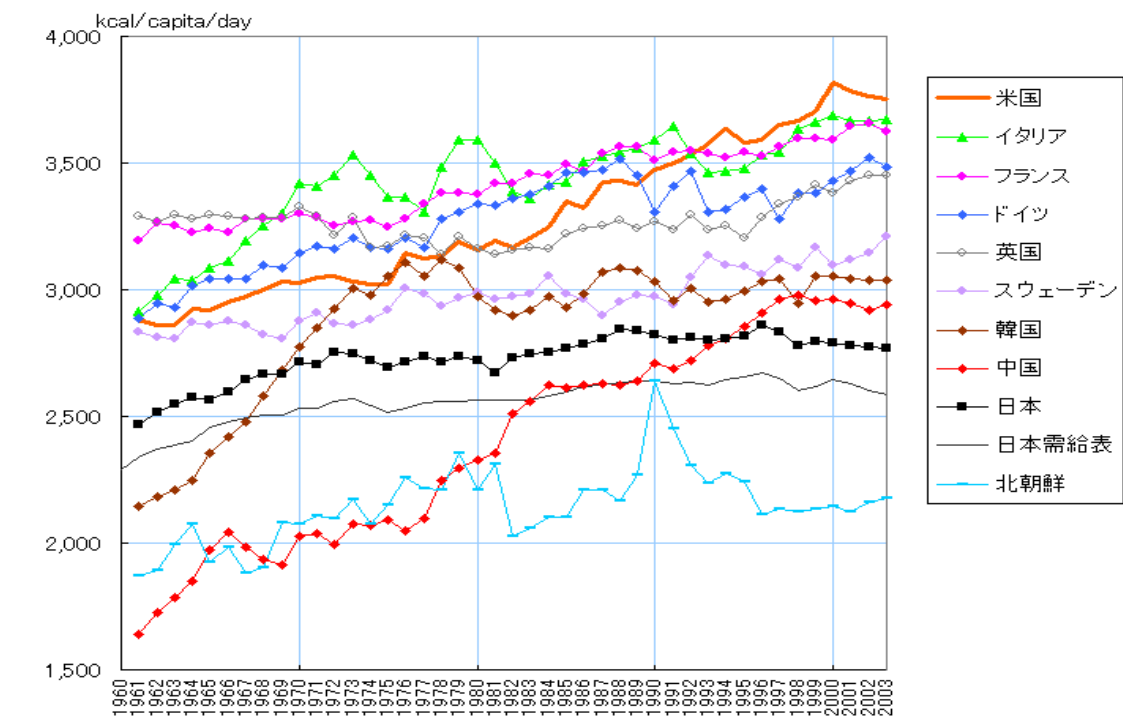


〔資料〕FAOSTAT、日本農業基礎統計(日本1960年以前)

途上国では、今後の経済成長に伴い、食料需要量が増加することが予測されるが、増加に伴い穀物比率が増加し、ある一定の摂取カロリーに達した時点で、穀物比率が低下するものと推測される。

各国の供給カロリーの推移は下図のとおりである。

1人1日当たり供給カロリーの推移



	中国	フランス	ドイツ	イタリア	日本	北朝鮮	韓国	スウェーデン	英国	米国	日本需給表
2003年	2940	3623	3483	3674	2,767	2,178	3,035	3,208	3,449	3,753	2,588

〔資料〕FAOSTAT Consumption Data, 2008.10.25 (日本需給表は農水省「食料需給表」の値)

摂取カロリーの上限值は、ヨーロッパ・米国では約3,500kcal、アジアでは約3,000kcal程度となっている。

肉で穀物と同等のエネルギーを摂取しようとした場合、単位摂取カロリーあたり8倍の穀物量が必要となることから、途上国が経済成長して3,500kcalを摂取するとした場合、飼料用穀物需要が急激に増加することが想定される。

供給カロリー (kcal)	穀物比率 (%)	分類	供給カロリー (kcal)	穀物換算 (kcal)	穀物量 (kg/人・日)
3,500	75%	穀物	2,625	2,625	0.75
		肉	875	7,000	2.00
		合計	3,500	9,625	2.75
	40%	穀物	1,400	1,400	0.40
		肉	2,100	16,800	4.80
		合計	3,500	18,200	5.20

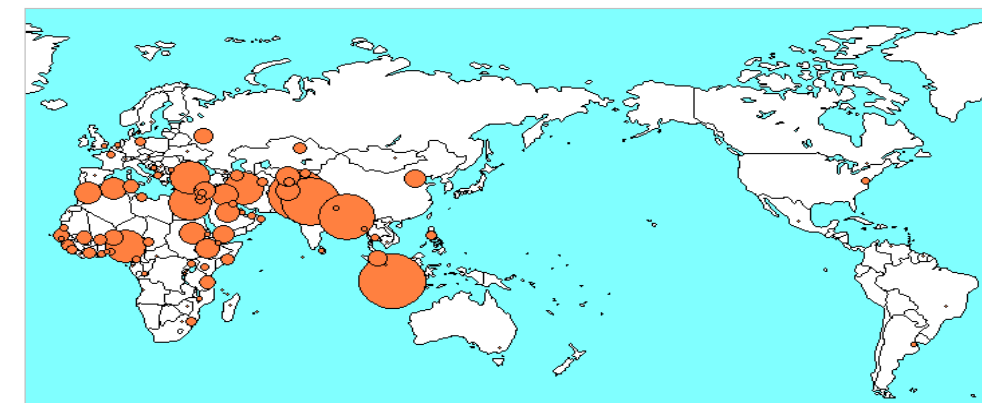
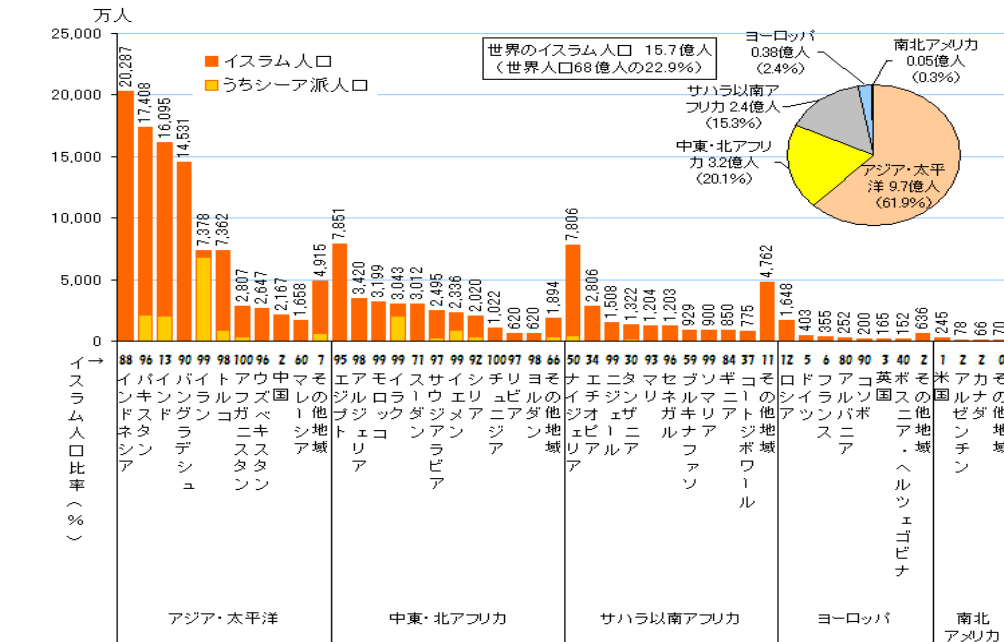
※ 1kgの肉の生産に8kgの飼料が必要(牛11kg、豚7kg)

※ 穀物のカロリーは、350kcal/100g(2006食料供給表)

我が国の穀物比率の推移を参考に、穀物比率が75%から40%に低下した場合、1人当たり穀物消費量は、2.75kg/日から5.20kg/日に増加する。

このため、増加分の2.45kg/人・日を需要に加えた場合の水ストレス、穀物ストレスの感度分析を行うこととする(イスラム国は加算対象から外す)。

世界のイスラム人口(2009年推計)



〔資料〕Pew Forum in Religion & Public Life, MAPPING THE GLOBAL MUSLIM POPULATION, October 2009

3 - (5) バイオ燃料

バイオ燃料は、非化石系の CO2 排出に関して中立的なエネルギーとして注目され、近年、急速にその需要が増加しているところである。

各国の動向については以下のとおり。

○米 国

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

計画	2012 年	28 百万 kl
	2017 年	132 百万 kl

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

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

○ブラジル

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

○欧 州

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

ド イ ツ 2005 年実績：麦類 20 万トからバイオエタノールを生産。

フランス 2005 年実績：甜菜等を中心に 10 万 kl のバイオエタノールを生産

○ I E A (International Energy Agency)

2015 年に 344 百万 kl の需要が生じると試算

バイオ燃料の将来動向については、なお不透明なところはあるが、米国はトウモロコシ (4 品目) 主体の生産を行っており、他国では 4 品目以外からの生産が主体であるという各国のエネルギー計画の動向を踏まえ、以下のシナリオの設定を行うこととする。

上 位：米国農務省の上限値であるトウモロコシ 90 百万ト を設定する。

中 位：現在バイオ燃料に利用されているトウモロコシ 50 百万トを設定する。