

灌漑必要水量の全球規模推計に関する研究

京都大学防災研究所 辰己賢一・山敷庸亮・寶 馨

1. 背景と目的

20世紀、世界人口の増加、世界の諸地域における急速な工業化により、世界全体の水需要が飛躍的に伸びた。

21世紀においても、人口増加、工業化の傾向は続くと考えられ、それに伴い、将来の水利用も増えていくことが予想されている。

将来、水利用が増大することが考えられる地域、流域を同定し、水利用の変化およびその影響を把握することが必要である。

将来の水需要は、社会経済および灌漑技術や節水技術といった技術導入など、世界が進むと考えられる将来シナリオにより影響される。

将来の社会経済シナリオおよび気候変動の影響を記述した水消費推計モデルの開発

水の再利用を考慮した水需給のバランスを地球規模で評価する

2. 水消費推計モデル

将来において想定される人口や経済発展に関するシナリオおよび、現状の各国各部門取水データを入力とし、まず将来の取水量の空間分布を推計し、さらに利用後に河川に還流される率の変化を考慮して、将来の各部門水消費の空間分布を推計するモデルである。

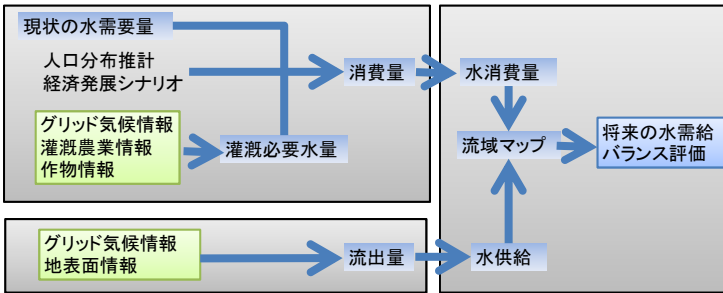
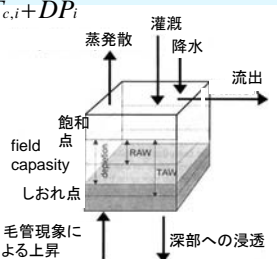


Fig.1 モデル概要

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P - RO)_i - I_i - CR_i + ET_{c,i} + DP_i$$

- $D_{r,i}$: i日における不足水分量[mm]
- $D_{r,i-1}$: i-1日における不足水分量[mm]
- P_i : i日における降水量[mm]
- RO_i : i日における流出量[mm]
- I_i : i日の灌漑量[mm]
- CR_i : i日における毛管現象による上昇量[mm]
- $ET_{c,i}$: i日の蒸発散量[mm]
- DP_i : i日における深層への浸透量[mm]



作物の栽培されている土壌の、根周辺の水不足量が $D_{r,i}$ である。RAWを上回ると作物の生育に悪影響が及ぶ。よって、 $D_{r,i} < RAW$ のとき $I_i = 0$ 、 $D_{r,i} > RAW$ のとき $I_i = D_{r,i} - RAW$ と設定することで $D_{r,i}$ を常に RAW 以上に保つ。

$D_{r,i}$: i日における根ゾーンの水不足量[mm]
RAW : 根ゾーンにおける容易有効土壌水分量[mm]
TAW : 根ゾーンにおける全有効土壌水分量[mm]
 I_i : i日における灌漑量[mm]

Fig.2 灌漑必要水量算定モデル概要

農業部門水消費推計モデル

本研究において、現状の農業部門の水消費量は、灌漑水量推計モデルにより推計される灌漑農業のために必要となる水量とする。将来の水消費量は、現状の消費量に、人口変化率を掛け合わせ、農作物の単収の増加率で割り引き、さらに将来の水消費率の変化(還流の割合の変化)を乗ずることにより計算した。基準年をx年、対象年をy年としたときの農業部門の水消費量は、下式で計算される。

$$WTCA(i, j)_y = WTCA(i, j)_x \times \frac{POP_{n,y}}{POP_{n,x}} \times \frac{Y_{n,x}}{Y_{n,y}} \times \frac{WCA_{n,y}}{WCA_{n,x}}$$

人口 単収 水消費率

工業部門水消費推計モデル

工業部門の将来水消費量は、将来の工業部門取水量に水の消費率変化を乗ずることによって得られると想定した。基準年をx年、対象年をy年としたときの工業部門の水消費量推計式は、下式に基づく。将来の取水量は各国GDP成長率に比例し、さらに水利用効率改善シナリオに従い割り引かれると仮定した。

$$WTCI_{n,y} = \left(WTDI_{n,x} \times \frac{WD_{n,y}}{WD_{n,x}} \times \frac{GDP_{n,y}}{GDP_{n,x}} \right) \times \frac{WCI_{n,y}}{WCI_{n,x}}$$

水利用強度 国内総生産 水消費率
(m³/SUS)

家庭部門水消費推計モデル

家庭部門の各国の水消費量は工業部門同様、将来の家庭部門取水量に消費率変化を乗ずることによって推計した。将来の取水量は、将来人口推計に比例し、さらに地域毎に設定した一人あたり取水量原単位により変化するとして、下式により推計した。ここで基準年をx年、対象年をy年とする。

$$WTCd_{n,y} = WDN_{n,x} \times \frac{WD_{n,y}}{WD_{n,x}} \times \frac{POP_{n,y}}{POP_{n,x}} \times \frac{WCD_{n,y}}{WCD_{n,x}}$$

水利用強度 人口 水消費率

供給可能水量推計モデル

河川流域の降水量から蒸発散や土壌浸透などの損失量を差し引いた量が河川への流出量となる。本研究では河川への流出量を水資源として使用可能な水量、つまり水供給潜在可能量と仮定し、この量を地球上の各地点ごとに推計した。このモデルは、降水量、野外容水量(土壌中に保持できる最大水分量)、可能蒸発散量を入力として、土壌水分量を算定し、土壌表面からの流出の算定をおこなう

将来の水消費推計モデル

将来の水需給は、将来における人間活動に大きく起因している。よって将来の水需給を推計するためには、世界の将来像を描写することが必要不可欠である。本研究では、世界銀行やIPCC(気候変動に関する政府間パネル)が持続的発展の継続を想定して設定した中位のシナリオSRES A1Bを参考にして1990年から2050年までの将来シナリオを作成した。本研究で作成したシナリオは、世界人口、国内総生産および農産物の単収、工業・農業・家庭部門の水需要量に占める消費率、水利用効率を1990年から2050年まで変化させて設定したものである。以下にその詳細を示す。

Table 1. 将来シナリオ

地域	GDP増加率[%/年]		人口増加率[%/年]		農業単収増加率[%/年]		2050年の水利用強度変化率(1990年を1とした場合)	
	1990-2025年	2025-2050年	1990-2025年	2025-2050年	1990-2010年	2010-2050年	工業部門	家庭部門
北米	2.6	1.4	0.5	-0.1	1	0.5	0.613	0.798
西欧	2.3	1.6	0.2	-0.1	1	0.5	0.886	1.000
OECD太平洋諸国	2.4	1.5	0.3	-0.1	1	0.5	0.487	1.010
旧ソビエト	2.3	1.5	0.4	0.2	1	0.5	0.696	1.233
東ヨーロッパ	2.3	1.5	0.4	0.2	1	0.5	0.709	1.305
アフリカ	4.1	3.8	2.5	1.5	1.4	0.7	0.921	1.580
ラテンアメリカ	3.2	2.8	1.3	0.6	1.4	0.7	0.701	1.640
中東	4.1	3.3	2.7	1.5	1.4	0.7	0.938	1.951
中国+	5.2	3.5	1	0.3	*	*	0.699	1.667
南・東南アジア	4.5	3.8	1.5	0.8	1.4	0.7	0.763	2.278

*中国及びアジア社会主義圏の農業単収増加率
1990年から2000年までは、年率1.015%、2005年までは、1.007%、2010年までは1.004%、それ以降は0.5%とした。

3. 結果と結論

水消費量(2050年代)工業部門

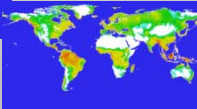


世界全体において、都市部で水利用が目立つ。アフリカでの推計結果の値が小さいのは、アフリカの国々では、工業部門における水利用率が低いためであると考えられる。

水総消費量(2050年代)



供給可能水量(2050年代)



家庭部門

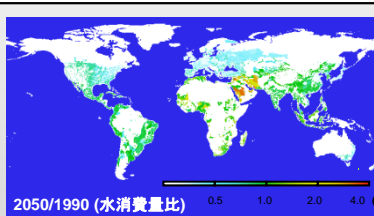


家庭部門における消費量の分布は、人口密度の振り分け手法の違いにより、工業部門による推計結果に比べて、世界全体において幅広い分布となっている。

農業部門

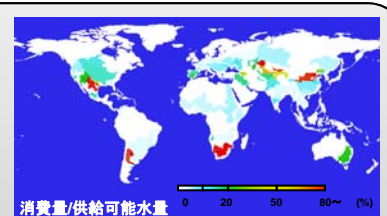


人口増加率の上昇が、農作物の単収の増加率を上回っている中東、南・東南アジア、アフリカ地域において、1990年レベルより高い水消費が予測されている。人口が減少、あるいは停滞すると考えられている、北米、ヨーロッパ等の地域は、逆に、1990年レベルよりも水消費量が少なくなることが考えられている。



各地点において、2050年代の水消費量を1990年代の水消費量で割ったものを図に示す。図を見て分かるように、北米やヨーロッパ、オーストラリアにおいては、比率が1.0を割り込む。つまり、将来において水消費量が減少する地域が多いと考えられています。アフリカ、中東、中央アジアのあたりで消費量が、2050年になるにつれて増えていくと予測されている。

本研究において、社会経済因子の将来推計と気候モデルを使用した将来の気候変化に基づいた水需給の概算手法を提示し、2050年代における世界全体の水需給のバランス変化を推計することができた。また、灌漑農業地域における作物の蒸発散に注目して、灌漑技術進歩を加味した灌漑必要水量を推計するモデルを構築した。



流域レベルで、先ほどの2050年代の水消費の総量を供給可能水量で割った結果を示す。図中の紫色で示されている所は、2050年代の水消費が供給可能水量の50%を超える高い数値を示す流域である。アフリカ大陸南部のリンボポ川やオレンジ川、北米のリオグランデ川、アジアでは黄河、中央アジア地域等、幾つかの流域で高い水消費率を示すという推計結果が得られた。これらの河川は流域に砂漠地帯を含むため、供給可能な水の量に占める消費率が高いものだと考えられる。また、1990年代と比較して水消費が増加する主な地域を黄色で示した。北米のサンホアキン川(サンフランシスコを河口として持つ)、オーストラリアのマーレー川、中央アジアのアラル海周辺で、水消費が増加するという推計結果が得られた。