

## 水田水利用のウォーターフットプリントとしての分析方法 Analysis of water availability as water footprint in agricultural water use

○増本隆夫\* 吉田武郎\*

○MASUMOTO Takao\*, YOSHIDA Takeo\*

1. はじめに ウォーターフットプリントの中で個々のインベントリの分析方法として水文モデルの利用が有用であるが、これまで具体的な応用事例はない。水田稲作特有の水利用形態を考慮できる流域規模での算定法が提案できれば、指標の利用者にとって有用な情報となる。そこで、単一な水循環過程の中での灌漑水に関連する入力と出力を用いたウォーターフットプリントの定量化法を提示する。

2. 水循環と基本的な構成要素 農業地帯の灌漑循環過程での入力、降水量と灌漑水量(例えば、Fig.1 の取水堰)で、一方、出力は地下水涵養としての浸透量と蒸発散量等である。さらに、稲の生産に直接は利用されない余剰水は複数地点から河川に戻る。また、灌漑地区に接続する残留域からの流入量も対象地区への入力となる。ここでは、灌漑用水を対象に河川の取水から還元までを取り扱う。また、水田から地下浸透して地下水となった水の一部は遅い流出として河川に戻り、中には下流都市住民の水道用水等として利用される場合もある。さらに、水田域は、水源が違う天水田と灌漑水田に分割でき、両者とも様々な形態を持っている。

3. ウォーターフットプリントにおけるインベントリ計算の手順 水の利用可能性診断における具体的な手順は以下のようなものである(Fig.2 参照)。i)水田稲作過程の計算は流域単位に実施する(Fig.1)。ii)稲作とウォーターフットプリントの関係を説明する際の水文モデル、具体的には水配分・管理モデル、実蒸発散モデル、作付時期/面積モデル(成長モデル)、水利用モデル、流出モデルの各要素から成る DWCM-AgWU モデル(Fig.2[参考文献 1)、2])参照)の計算結果を利用し、個々の要素を算定する。iii)水田の水利用形態は、天水田と灌漑水田に分け、個々のウォーターフットプリントインベントリ計算を行う。iv)高度な水田灌漑(日本を含む東アジア域)と天水農業(東南アジア域諸国)での算定は両者を組み合わせて実施する。一方、年間に2~3期作を行う地域では、雨季水田は天水利用、乾季水田は灌漑利用に分類される場合もある。一連の手順は、モンスーンアジアの全流域に適用可能である。

4. 具体的事例における入力パラメータと算定結果 (1)対象流域:”水の利用可能性”指標を試算

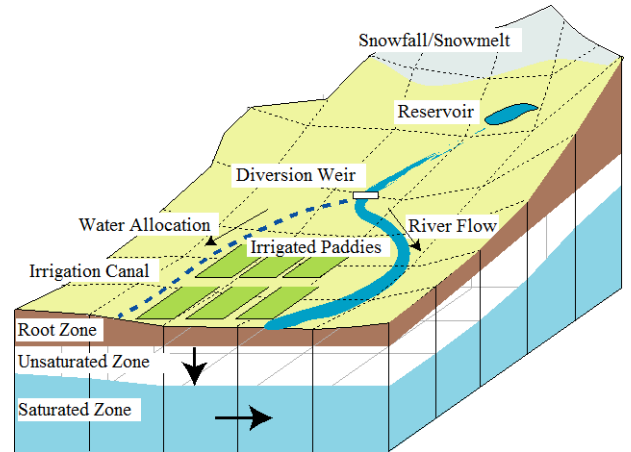


Fig.1 流域規模の水循環過程の概要  
Depiction of basin-wide hydrological processes

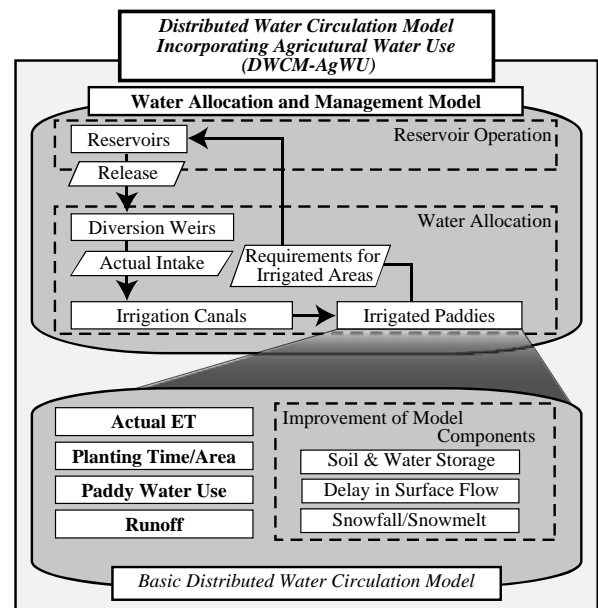


Fig.2 ウォーターフットプリントのインベントリ分析に必要な構成要素  
Components of the water footprint inventory analysis

\* 農研機構 農村工学研究所 National Institute for Rural Engineering, NARO  
キーワード: 流域水循環、ウォーターフットプリント、インベントリ分析、灌漑、水田稲作

するためのインベントリ評価を行う対象地区は、水田灌漑主体の関川流域である。(2)入力パラメータ: 複数の単位過程に対して、入力パラメータは土地利用、気象、地形、メッシュ化した流域等の各データで、一方でモデルによる計算結果として、水田の植付面積、実取水量、土壌水分等の農業水利用に関連する諸量が流域内の任意の地点と時間について得られる。そのため、人間活動が流域の水循環や食料に対する影響を有効かつ信頼性を持って得ることができる。検討の過程では、モデルの検証を行い、観測値が極端に不足する地域に対しても、その代替として有用な情報を提供することも明らかにしている。

(3)計算結果: ある灌漑地区での計算を全域で積み上げ(例: Table 1)、例えば玄米1キロ当たりや灌漑期間中の1ha当たりの収量で示される(Table 1)。この事例では、33年間の日単位の計算結果の平均値として、稲作単位プロセスの中で灌漑期間中に降水量(888mm)、灌漑水量(957mm)の入力がある。DWCM-AgWUモデルにより推定される他の要素は、灌漑期間の水田からの実蒸発散量(510mm)、地下水涵養量(623mm)である。利用可能量(降水・灌漑の合計)に占める灌漑水量の割合は0.53となり、特に取水堰等からの灌漑水量に対して還元率は0.7と推定された。後者から、灌漑水の多くは流域内の流況維持や水資源平準化に大きく役立っていることが分かる。また、この例では灌漑地区の収量は1ha当たり5.39トンである。余剰水がないと仮定する見かけの灌漑水量は、1ha当たり9,570ton(玄米1kg当たり1,780ℓ)であるが、実際の消費水量は、1ha当たり5,100トン

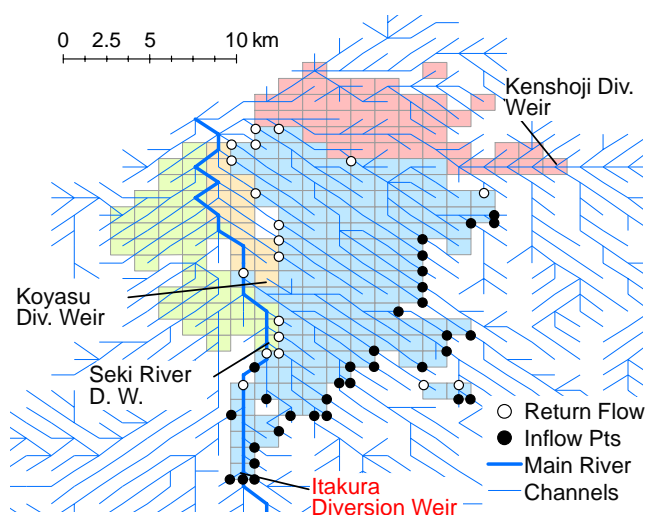


Fig.3 事例地区における流入・流出地点の特定  
Inflow and outflow locations for a target irrigated area

(玄米1kg当たり946ℓ)と計算される。加えて、地下水涵養量は流域で玄米収量1kg当たり1,160ℓの機能を持っていることになる。これにより、玄米1kgを生産するために必要な水量は2,100ℓと算定できる。灌漑がウォーターフットプリントの中の水の利用可能性の指標算定のために重要な要素となっている。

5. おわりに 提示したウォーターフットプリント算定方法により、流域単位で灌漑水の反復利用、地下水涵養、河川還元等の様々な機能が考慮できる。

参考文献 1)吉田武郎ら(2012): 広域水田灌漑地区の用水配分・管理モデルの実装による流域水循環のモデル化, 農業農村工学会論文集, 277, 9-19, 2)Masumoto, T. et al. (2009): Development of a distributed water circulation model for assessing human interaction in agricultural water use, M. Taniguchi, et al. (Eds.), "From Headwaters to the Ocean: Hydrological Changes and Watershed Management," Taylor and Francis, 195-201

Table 1 ウォーターフットプリントの計算結果(33年間の日計算値の灌漑期間積算値、関川流域)[MCM:百万m<sup>3</sup>] Water footprint inventory analysis for 33 years (1976-2008) in the Seki River Basin, Japan

Items	Unit Processes, ton/kg yield**	Ratio of Irrig. Water to Potential Water Availability (R + Q <sub>irrig</sub> )
Rainfall (R)	1.649	0.518 (0.735)
Irrigation water (Q <sub>irrig</sub> )	1.776 (4.593)	
Inflows from residual areas (Q <sub>res</sub> )	(6.491)	River Return Ratio ([Return to Rivers] / [Irrigated Water])*
Returns into rivers (Q <sub>return</sub> )	(11.410)	
Infiltration	1.158	
Evapotranspiration	0.946	
		0.696

(\*)注 1: 河川還元率はモデル計算結果から得られる残留域からの流入量(Q<sub>res</sub>(37地点)と河川への還元量(Q<sub>return</sub>(23地点))から算定可能(Fig.3参照)。  
(\*\*)注 2: 括弧( )内の数値は純用水量ではなく、粗取水量としたときの推定値。各算定値は、流域内(76.3km<sup>2</sup>)の灌漑地区を対象としたもの。