

b. 水循環変動と食料

アジアの面積は世界の陸地の 24%にすぎないが、世界人口 59 億人の中の 36 億人が暮らしている。アジアモンスーン地帯に限れば、面積にして世界の 14%で世界人口の 54%の生命を支えていることになる。これは、この地域が古くから米を主要な穀物としてきたことに起因していると考えられ、中国では 7,000 年前の稲作の痕跡が見つまっているように、アジアにおいて持続してきた水田稲作は地域の気候、風土に適合し、多くの地域資源を有効利用した持続的で環境に優しい経済活動であったといえる。

一方、近年、世界各地で干ばつの多発、河川・湖沼の水涸れ、水質の悪化など、水循環変動に起因する水問題が深刻化してきている。また、人口増加や食糧増産等に伴い水需要が増大するとともに、使用可能な水資源量の変動などにより、水が世界の持続的発展の最大の制約条件になるとみられている。このような地球規模の水循環変動は、世界の水需給の逼迫と食料生産力の低下をもたらすことになり、我が国の食料の安定供給の確保にも大きな影響を及ぼすことが懸念されている。このため、食料の輸入を通じて世界の水を大量に輸入している我が国としても、水循環変動への対応が喫緊の課題となっている。

そこで、ここでは、湿潤地域であるモンスーンアジアと乾燥・半乾燥地域における水文環境、灌漑形態、水田の特徴を比較しながら、アジアモンスーンの水利用の代表例として取り上げるメコン河を中心に、食料分野における地球規模の水循環変動研究が目指す方向を例示的に示す。特に、現在遂行中である食糧需給モデルを用いた食料問題についての検討結果の一部を紹介する。なお、農林水産省農林水産技術会議や傘下の独立行政法人研究機関が共同して、「地球規模水循環変動が食料生産に及ぼす影響の評価と対策シナリオの策定」の研究プロジェクトを行っている(2003~2007年度)。

1) 水循環変動研究と食料生産

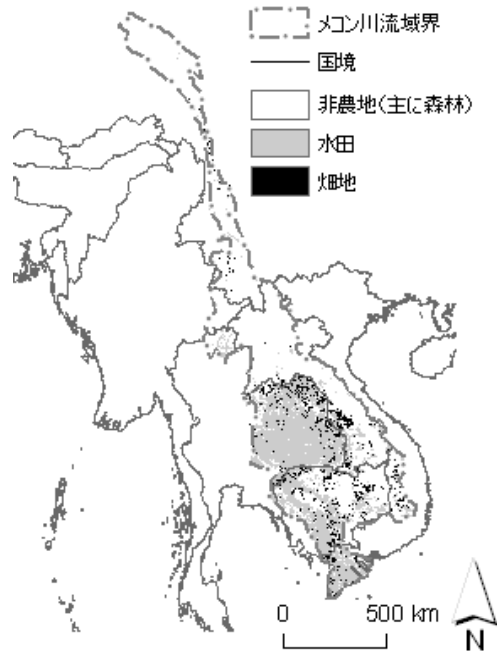
①湿潤地と乾燥・半乾燥地の水田灌漑の特徴

米の生産量からみると、9割近くは世界中の10カ国で生産されており、この内9カ国がアジア地域の国で占められている。また、そこでの水田稲作の形態は様々に分類できるが、世界の乾燥・半乾燥地域における灌漑との比較対照で考えられるが、モンスーンアジアの水田灌漑は、雨季と乾季があるように水資源の供給量の季節的な変動は大きいものの、この地域の間活動が持続的な水田灌漑農業に支えられていることが挙げられる。

一方、世界に広がる水田のうち、乾燥・半乾燥の水田灌漑の特徴として、代表としてオーストラリアのものを採り上げることができる。すなわち、そこでの気候は、降水量が少なく乾燥していることが特徴である。水田は、かつてクイーンズランド州に存在していたが(1993年に中止)、現在ではニュー・サウス・ウェールズ州のマレー川とマランビジー川を中心に10万ha前後の面積がある。この地域の年降水量は400mm前後のため、灌漑により稲作が行われている。

②乾燥・半乾燥地帯稲作にみるモンスーンアジアの水田灌漑との違い

早瀬・増本（1998）は、農業が地域資源を持続する形で行われているかどうかの視点から、オーストラリアの地域資源の特性と灌漑農業によって提起される問題点について検討している。そこでは、後述する日本の水田域の洪水緩和機能や水田灌漑による地下水涵養機能と対比させて論述している。また、マレー川周辺に広がる稲作地帯は、洪水時の氾濫水を貯留させているが、支川河川では洪水の機会も少なく、水田の洪水緩和機能は実感されていない。さらに、水田による地下水浸透は塩害を起こすため、浸透抑制が第一に考えられ地下水涵養の概念はない。このように、水資源などの地域資源の環境により、水田域の持つ機能評価は大きく異なる。



【図9】メコン河流域の概要

③水循環変動が食料生産に及ぼす影響の評価

食料生産と水循環との関わりについては幾つかの研究・検討結果が得られているが、いずれも麦・トウモロコシ等、稲作以外の穀物を対象にしたものが中心であった。世界人口の多くを養い、モンスーンアジア域の主食となっている米やその生産場である水田に注目した食料受給モデルの構築は世界初の試みであり、ここでの対象はアジアモンスーンの中心をなすメコン河流域である【図9】。

2) 食料需給と水利用

①既存食糧需給モデルの欠点

既存の食料・水需給モデル（PODIUM、IMPACT-WATER、JIRCAS）およびCROPWATなどの灌漑収量モデルをレビューした。その結果、①畑作物の収量予測に使われる水分ストレスを用いた減収率の考え方が水稲にも適用されているが、この考え方で湛水を利用した栽培を行う水稲収量を計算すると大きな誤差が生じる、②水田の灌漑水量は「水田の蒸発散量＋浸透量」ではなく、再利用水量、代かき用水量、栽培管理用水量等を考慮しなくてはならない、③河川の利用可能水量を計算する際に、河川維持流量が時期に関係なく流量に一定の係数を乗じて求められているが、メコン河のように雨季と乾季で大きく流量の異なる流域では別の方式でこの水量を推定する必要があることなどが明らかになった（清水ら、2004）。

②天水田と降雨量の関係

コメの収量（2001年、2002年の稲作）に影響する要因（降雨、品種等）のうち、降雨量について、カンボディア全州で、高収量品種（HYV）の栽培割合、灌漑農地面積率、洪水・干ばつ・病害虫による被害面積率が5%以下の州に限定して、降水量と単位収量の関係を見た。その結果、雨季の降水量が700～2,100mmと大きく変化しても、単位収量は1.1～1.4t/haの間に分布し、降雨量だけでは収量を表すことができないことが分かった。同時に、現地調査を通じて天水田には完全に降雨のみに依存するものだ

けでなく、圃場周辺低地の湛水や小規模ため池の水を利用する水田があることが確認された。

③洪水を利用した水田耕作

上記のことから、天水田の水利用形態を完全降雨依存、小ため池利用ならびに洪水利用に分類した。その中で、まず、洪水を利用した方式の検討を行った。ここでは、カンボディアのトンレサップ湖周辺およびプノンペン近郊の氾濫域を対象に、大・中・小規模の洪水データをもとに水田の受け持つ氾濫湛水量を計算した【表1】。その結果、氾濫する水田は両地域で60～95万haにも及び、水田が受け持つ氾濫貯水量は全氾濫量の約20%にもなり、さらに水田上に蓄えられた氾濫水は、減衰期稲作や下流の灌漑水として利用されることなどが分かった。

④水田の水利用形態による天水と灌漑の分類

前述のように天水田の水利用に応じた分類をする一方で、灌漑農地の水利用方式については、灌漑施設数から、河川（重力、ポンプ）、貯水池、コルマタージュ、潮汐利用、地下水利用に大きく分類した【表2】【図11】。

さらに、水利用方式や農地分類および作付けパターンを衛星データの解析により、広域にスケールアップする手法の開発を行った。まず、複数季節の土地被覆分布をLANDSATデータによる解析結果を基本データとして、MODISデータによる広域の土地被覆分類を試みた。MODISデータの反射特性を利用して、Band1（赤）とBand2（近赤外）のDN（デジタルナンバー）値の組み合わせから、湛水域（水田）の分類は可能であることを明らかにした。

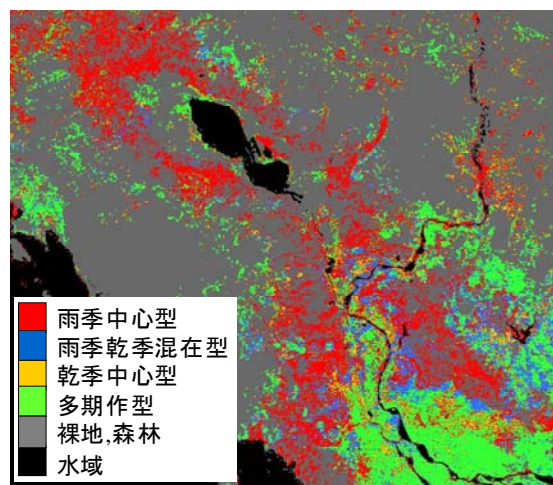
【図10】は、8日間合成のMODISデータを用い、植生被覆密度(VD)の年間変動から土地被覆（農地）分類画像を作成したものである。これをLANDSATデータから作成した土地被覆・水稲作付け状況図と比べた結果、全体的にほぼ一致し、広域に農地を把握する手

【表1】洪水規模の違いによる水田が受け持つ氾濫湛水量の比較（Masumotoら，2004）
（大規模：2000年，中規模：2001年，小規模：1999年）

(a) トンレサップ湖周辺			
	湛水した水田面積 (1,000ha)	水田に湛水した水量 (10 ⁸ m ³)	氾濫水量に対する割合 (%)
大規模洪水	502	114.7	16.5
中規模洪水	450	97.6	15.1
小規模洪水	292	56.0	11.2
(b) コルマタージュ域			
	湛水した水田面積 (1,000ha)	水田に湛水した水量 (10 ⁸ m ³)	氾濫水量に対する割合 (%)
大規模洪水	450	99.9	42.4
中規模洪水	409	91.0	42.0
小規模洪水	314	57.1	38.5
(c) 合計 ((a)+(b))			
	湛水した水田面積 (1,000ha)	水田に湛水した水量 (10 ⁸ m ³)	氾濫水量に対する割合 (%)
大規模洪水	952	214.6	23.0
中規模洪水	859	188.6	21.8
小規模洪水	606	113.1	17.5

【表2】農地の水利用による分類

		分類	農地	
			水田	畑
水	灌漑	河川(重力) 河川(ポンプ) 貯水池 コルマタージュ 干潮灌漑	灌漑施設により分類	
		地下水 井戸		
非灌漑	地表水	天水 雨水貯留 洪水	地形標高により分類	



【図10】MODISデータの植生被覆密度による農業形態別分布

法として有効であることが示された。

⑤水利用に係る要素モデルの作成

水利用や水供給に係るモデルは食糧需給モデルの中の要素モデルとして開発する。食糧需給モデルの中で、水循環と水利用（特に水田用水）との関係は、【図 12】の概念図で示されるが、メッシュあるいは州、国の単位毎に水利用を考慮した水の出入りを計算する。その際には、降雨、気象、作物、土壌・土質のデータを用いるが、それらは共有するデータベースから抽出し、個々の計算モデルを用いて算定された蒸発散量や浸透量を入力とする。その中で、天水と灌漑に分類した水利用形態それぞれに対する水利用に係る量を算定していく【図 11、図 12】。

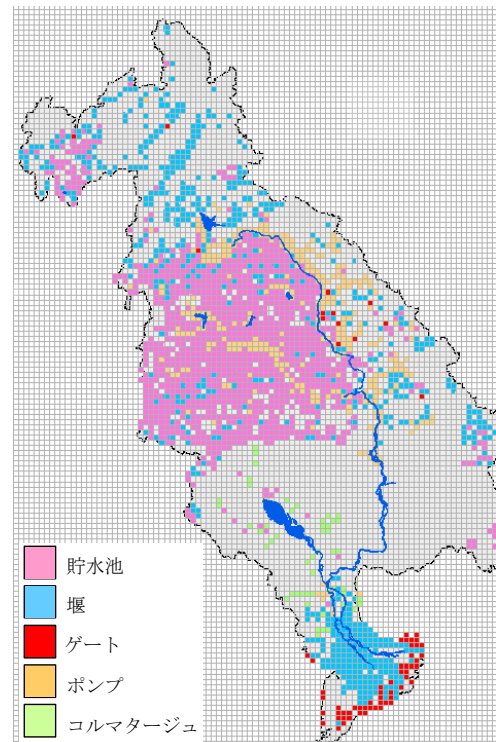
⑥水循環と食料生産の定量的評価に向けて

湿潤地域であるモンスーンアジアと乾燥・半乾燥地域における水文環境、灌漑形態、水田の特徴を比較しながら、アジアモンスーンの水利用の代表例として取り挙げるメコン河を中心に、地球規模水循環変動研究が目指す方向を示した。その結果、以下の結論を得た。

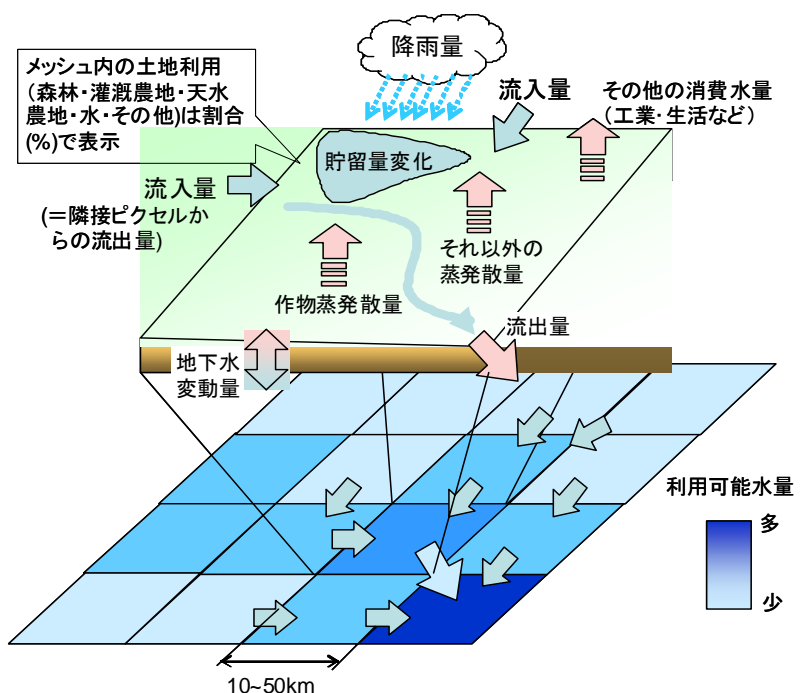
A 人口密度の高いモンスーンアジアにおいては、この地域の人間活動は持続的な水田灌漑農業に支えられていることが大きな特徴である。さらに、オーストラリアを例にした乾燥地稲作とモンスーンアジアの湿潤地稲作との違いを比較検討し、水田稲作がアジアモンスーンの

の気候風土に適した農業生産の手段であることを明らかにした。

B 既存の食料・水需給モデルのレビューを行い、降雨量のみ依存するとした水稻の収量予測、灌漑水田の様々な水利用の検討が必要ながことが分かった。そこで、天水田や灌漑農地における水利用の分類と分類図の作成を行った。次に、人間活動に関連する地球規模水循環変動が食料生産にどのように影響するか、またその対策シナリオをどのように立てるかを検討するため、食糧需給モデルの水利用部分を作成した。



【図 11】灌漑農地の水利用分類 (0.1°メッシュ)



【図 12】水循環と水利用の関係概念図