

農家集団による2つの資源運用を考慮したエージェントベースモデルの構築  
—インドネシア、バリ島のサブアクを事例として—  
Agent-based modeling considering two resource use by water users' organizations  
— A case study of Subak system in Bali, Indonesia —

○大倉芙美\*, 加藤亮\*\*, イ Wayan ブディアサ\*\*\*

○Fumi OKURA, Tasuku KATO, I Wayan Budiasa

## 1. はじめに

水稲栽培では、降雨量の変動に伴って変化する農業用水の供給量の変動に適応した水管理を行うことで、コメの生産増大を図ることができる。近年の東南アジアにおいては、経済発展に伴い、稲作地域でも都市化が進んだことで非農業就業機会が増えたため、農作業の外部委託化や機械化が拡大している。従来は、労働強度の高い耕起や田植え、収穫といった作業に対して、地域内部から安定的に労働力を供給できたが、近年は変動する外部労働資源に依存しており、労働資源が生産に影響を与えている。さらに、世界的に食料増産が急務であることに加え、気候変動による降雨パターンの変化による洪水や干ばつが発生しており、農家集団が未経験の環境変化に対して迅速に適応し、水管理を行うことが求められている。そのため、農家へのガイドラインを明示するためにも、水管理の適応策をモデルシミュレーションにより明らかにすることが期待されている。

エージェントベースモデル (ABM: Agent-Based Model) は、相互作用を行う個や集団をエージェントとし、エージェント間の相互作用に基づく振る舞いが、マクロなレベルでどのようなシステムを創発させるのかを観察できる。例えば、採掘現場における中央管理システムとエージェントベースシステムによる分散的な配分システムを比較した研究では、分散的なシステムの方が一部の機材コストが減少した(Ahumada et al, 2020)。水田農業での ABM の適用例では、Lansing and Kremer (1993) が水配分に着目して、農家集団をエージェントとした ABM を構築し、農家集団レベルの農業用水の運用に関する意思決定が、地域レベルでコメの高い生産量を生み出していることを説明した。近年は、水資源だけでなく、労働資源が生産量に影響を与えていることから、水管理の最適化や環境変化への適応は、労働資源も含めた資源配分を考慮する必要がある。そこで本研究は、水資源と労働資源を考慮した水管理システムを ABM で構築することを目的とした。これにより、現行の資源運用ルールへの分析や、将来起こり得る環境下での資源運用によるコメの生産量の予測、予測に基づく適応策の立案ができ、農家の営農支援に活用できるようになる。

## 2. エージェントベースモデルの構築

モデル化の対象地域は、インドネシア バリ島の北部スリリット郡にある取水堰を共有する5つのサブアクと呼ばれる農家集団とした。バリ島には雨季と乾季が存在し、

---

\*国際農林水産業研究センター Japan International Research Center for Agricultural Sciences. \*\*東京農工大学農学研究院 Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology. \*\*\*ウダヤナ大学農学部 Faculty of Agriculture, University of Udayana.

キーワード: 水田灌漑, エージェントベースモデル

乾季に得られる灌漑用水量によっては、イネの三期作が可能である。農家集団単位で作付けシーズン毎に水資源運用のタイムテーブルを決め、作付け回数の最大化を目指す。対象地域では上流側の農家集団が三期作である一方、下流側では乾季に水不足が発生し二期作になる。また、労働資源運用に関しては、外部の収穫労働力に依存しており、特に雨季後半に収穫労働者の不足が見られる。そして、収穫労働者が不足したことによる数週間程度の収穫期間の長期化が起こっていた。

対象地域の資源運用をモデル化するため、農家集団をエージェントとし、農家集団ごとの資源運用がタイムテーブルとして出力され、最適な年間収量を求める ABM を構築した。まず ABM 上でエージェントの関係性や配置を再現するため、最上流のエージェントは A1 と A2 の 2 つとし、A1, A2, B, C, D, E の 6 つのエージェントを設定した (図-1)。エージェントの水資源運用ルールは、上流優先とし、灌漑用水路の流量と降雨量、また収量評価に基づき、用水運用のタイムテーブルが決定されるとした。年間のタイムテーブルのうち、水資源運用で決定される代かき期間とイネの作

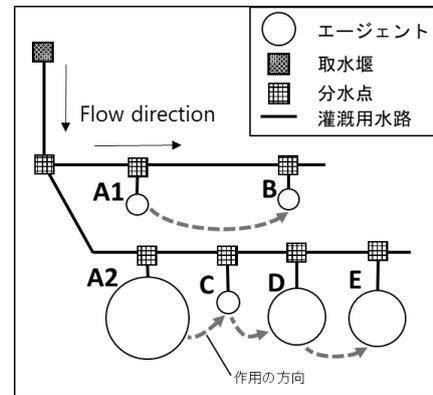


図-1 モデルの構成要素  
Figure 1 Components of the model

付けの有無が仮に決定される。次に、労働資源の運用を考慮するため、利用可能な労働資源量に対し、労働者雇用コストと収量の評価に応じて、労働資源運用のタイムテーブルが決定されるとした。労働資源については、上流のエージェントから運用を決定するとした (表-1)。これにより、年間のタイムテーブルのうち、労働資源運用で決定される収穫期間が定まる。以上から、本モデルでは、水資源運用と労働資源運用ともに、上流の農家集団の資源運用の意思決定が、下流の農家集団の資源運用の意思決定に作用することをあらわすことができるようモデルの構築を行った。その結果、労働単価が作付け回数に影響を与えることが示唆された。

表-1 資源ごとの評価軸と決定されるタイムテーブル上の要素  
Table 1 evaluation and related segment of timetable of each resource

資源	評価軸	タイムテーブル上の要素
水	収量	代かき期間, 作付けの有無
収穫労働力	労働者雇用コスト, 収量	収穫期間

### 3. 今後の展望

今後は、労働単価を変えた場合、作付け回数がどのように変化するかシナリオ分析を行う。また聞き取りで明らかになった資源運用戦略の組み合わせを変え、創発した新たな資源運用システムと現行のシステムと比較し、効率的又は生産的なシステムについて考察を行う。そして、適応戦略の一つとしての ABM の活用法を明らかにする。

**参考文献** Ahumada, G.I., Riveros, E., Herzog O.: An Agent-based System for Truck Dispatching in Open-pit Mines. ICAART 2020 12<sup>th</sup> International Conference on Agents and Artificial Intelligence Proceedings Volume1. Pp73-81. (2020). Lansing, J.S., Kremer, J.N.: Emergent Properties of Balinese Water Temple Networks: Coadaptation on a Rugged Fitness Landscape. *American Anthropologist* 95 (1): pp97-114. (1993).