

農業技術の普及に関するシミュレーション

国際農林水産業研究センター 鈴木研二

1. はじめに

自立した個々の主体が多数集まって、相互に依存しているシステムをマルチエージェントシステムと呼び、ボトムアップにシステムを構成する設計手法として注目を浴びている（大内ほか, 2002）。システムの構成要素にエージェントを導入することによって、エージェント間の相互作用の記述に基づいたシステム全体の挙動をシミュレートすることが可能となる。こうした利点を活かして、最近では農学の分野でも幾つかの適用事例が見られるようになりつつある（松田, 2005; 山下・星野, 2005）。

本研究では、開発途上地域における農業技術の導入・普及による広域拡大に関する状況の再現を想定し、マルチエージェントシミュレーション（MAS）手法を活用するための基礎的な検討を行うこととした。

2. 研究方法

水文条件の経年変動の大きい東北タイへの適用を前提に、農業技術の普及・展開を検討するための MAS モデルを構築する。シミュレーターは *artiso professional* を用いた。所与の降雨・農地条件下で、ある農業技術を農家が試行、受容する様子をシミュレートする。本報告では特に農業技術の普及に要する期間や地点数、普及技術の消長に関する動態追跡について検討する。なお、現段階では種々の設定やパラメータなどについては架空の値を用いることとした。

2.1 研究対象地域の概略

タイ国東北部の Khon Kaen 県、Khon Kaen 市中心部より南方約 30km に位置する Ban Haet 郡周辺の農村を対象に 2002 年以降、断続的に現地での調査・研究を行っている。本地区は Chi 川支流の Huai Muang（Huai は小河川の意）流域に含まれ、緩やかな起伏が連続し、谷地である低位部には主に水田が、高位部には畑地が広がる。土壌は砂質で保水力、栄養分共に乏しく、浸食が起こりやすい（鈴木・三輪, 2006a）。

雨季と乾季の明瞭なタイ国東北部では、降雨の大部分は雨季に集中しており、時に局地的なスコール性の降雨がある。図 1 に Ban Haet 郡で観測された年総雨量の経年変化を示す。平均は約 1,100mm/year であるが、800~1,400mm/year と経年変化が大きい。加えて雨季の到来も毎年ばらつきが大きく、雨季到来に遅延があれば田植え作業に、ひいては生育や収量に大きな影響を及ぼす。一方、ほぼ毎年 100mm/day 程度のまとまった降雨も観測されている。雨季中に集中豪雨が頻発すれば水資源の時間的な偏在が大きくなり、年間を通じた水利用が一層困難となる。こうした限られた水資源を有効に利用するため、圃場に隣接する

溜池や小河川の灌漑堰など小規模な水利開発が行われている。こうした地域を想定し、モデルの開発を行うこととする。

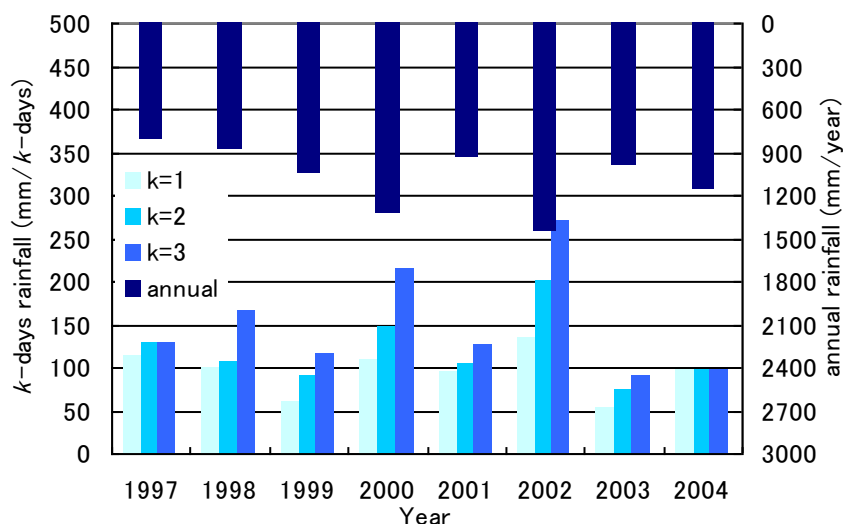


図1 年総雨量と年最大 k 日雨量 (Ban Haet 郡郡役所観測降雨)

2.2 農業技術の開発・普及

独立行政法人国際農林水産業研究センター (JIRCAS) では、国際研究プロジェクトである「天水農業プロジェクト」を実施している (図 2)。当該研究プロジェクトでは、インドシナ半島の天水農業地域の水と作物の実態、特に集配水や節水の仕組みや作物選択のノウハウ等を分析して、この地域に適した効率的かつ持続的な集配水や節水の技術と所得向上のための作物選択手法の開発に取り組んでいる。当該研究プロジェクトの特徴として、農民参加型手法を導入することにより、地域に適した効果的かつ持続的な手法の開発による技術的指針を提示していることが挙げられる。こうした技術研究への農民参加を通して、農業経営における生産選択枝を増やすことにより、農業生産性が低位に留まっているインドシナ地域の農業経営の安定向上と農家の意思決定自由度の拡大に寄与することが期待される。

これまでに当該研究プロジェクトでは、幾つかの現地適応型技術を開発してきた。具体的には、節水栽培技術、溜池建設サイトの選定のための手法、地下水利用に関する技術等が挙げられる (国際農林水産業研究センター, 2006)。モデル開発の最終ゴールとしては、こうした技術の広域拡大・伝搬の様子をシミュレートすることを想定している。

Thailand
Khon Kaen province
Khon Kaen city
Nong Saen village

Project site
One of the approaches adopted for the project from its start is a site-based approach, in which Nong Saen Village, 40km south of Khon Kaen City, was selected for multidisciplinary research. Nong Saen Village is located on the Khorat Plateau with undulating topography consisting of both paddy and upland fields in a series of mini-watersheds. The village was founded in 1931 with only 8 households. Now there are 207 households and 990 inhabitants.

The JIRCAS Rainfed Agriculture Project

Objectives of the project

- (1) to develop efficient and sustainable technology for the collection and distribution of water, together with water-saving technologies primarily focused on vegetable production through a farmer participatory approach,
- (2) to identify appropriate combinations of agricultural production activities compatible with water and labor resources for increased farm diversification, and
- (3) to develop guidelines for farmer-participatory research for improved agricultural production with higher income in the region.

独立行政法人 国際農水産学研究センター
Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS)
〒510-8566 和歌山県和歌山市大浜1-1 TEL. 073(838)8111 FAX. 073(838)8116
<http://sj.jircas.affrc.go.jp/project/tensu/index.html>

For more efficient water use

Evaluation of on-farm pond

Legend
○ A: Good ○ B: Fair ○ C: Poor

Evaluation of on-farm pond
Using simple water budget model and GIS, the relation between catchment area of ponds and minimum water depth in dry season was clarified. Three categories (A, B and C) were proposed for evaluating pond location. We applied the method to 180 ponds in the study area; half were belonged to category A, 10% to B, and 40% to C. The amount of water that was not being stored due to inappropriate location was more than 20% of the total pond capacity.

Water budget

Surface water budget
A distributed hydrologic simulation model calculated surface water budget in the study site. The model has three layers (surface, top-soil, and sub-soil layer) to store water, and can calculate water movements among the layers and grid cells of 3-dimensional direction for inputting daily rainfall data.

Satellite imagery and land use map
Land use
For digitizing high-resolution satellite imagery and inputting the items of land use type by image interpretation, the base map of 8.75km² was processed (60% for upland field and 20% for paddy field). Using the map, we developed GIS database containing following features: planting crops in upland fields, rice planting status, and pond water usage for paddy fields.

Groundwater map for safe yield
Groundwater utilization
The groundwater dynamics was quantified for the Nong Saeng sub-watershed in terms of safe yield which is defined as water quantity that can be exploited for its sustainable utilization. It was found that current utilization of groundwater in the sub-watershed is only 30% of its safe yield.

Incomplete Tech. (Knowledge Transfer Tech.) + Copy (Learning) + Modify (Invention) = New Technologies

Researcher Knowledge + Farmer Knowledge & Idea = New Knowledge

Knowledge Creation
Farmer Evaluation
Farmer-Initiated Ideas
Farmer-to farmer stimulating new trials

Development of water-saving technologies
A new approach for farmer participatory research was proposed in order to develop water saving cultivation technologies for vegetables and practiced in the Nong Saeng village. The approach enables farmers to contribute their new ideas and researchers to generalize from a wider domain of experimentation than the classical participatory approach. It was shown that with this approach the locally adaptable technology can be developed with much shorter period of time.

図2 JIRCAS・天水農業プロジェクトのパフレット

2.2.1 事例1：直播から移植へ

これまでの現地調査の中で、農家が新しい栽培法を受容したり、放棄したりする様子を観察してきた。こうした具体例を以下で述べる。

筆者は、東北タイのコンケン県に所在する HH 村、PM 村で水稲の作付方法に関するアンケート・聞き取り調査を実施した（鈴木他，2000）。これら調査の結果、従来は移植による植付（田植）が一般的であったが、対象地域において直播（散播）が急速に広まったことを明らかにした。農家は直播による減収を認めつつも、1996 年にはおよそ半分の面積の水田で直播されるに至った。直播の開始は 1994 年前後に多く、同様の時期においてチー川や

ムン川といった東北タイの主要な河川の周辺でも各種直播の広がりが報告されている (Konchan and Kono, 1996)。HH 村、PM 村周辺におけるこうした現象は、農民の都市定着による農繁期の労働力不足と、それに対応した営農指導がもたらしたものと考えられる。

しかし、アンケート調査後の追跡調査によれば、多くの水田で作付できなかった 1997 年を除き、1998, 99 年には両村付近のほとんどの水田で田植に戻っている。この時期はタイ経済危機の直後に符合するものの、補足的な聞き取りでも労働力の回復に伴って移植に戻ったという農家はなかった。直播に対する農家の経験的な評価は低収量や雑草被害に代表されるように芳しくない。当時の聞き取りから、これからも直播を続けるという農家は極めて少なく、この地域での直播の広がりは一時的な試行として留まったものと推察される。

2.2.2 事例 2：陸稲の展開

本研究対象地域に所在する NS 村周辺では、近年、小流域の高位部にあたる畑地において陸稲の栽培が急速に拡大しつつある。こうした背景には、ここ数年の水田での不作が続いていることや、昨年から郡が陸稲の推奨を開始したこと、サトウキビ・キャッサバの価格が上昇し、より狭い範囲での作付けでも以前の数倍の収益が上がっているなどの理由があるものと考えられる。陸稲の収量は一般に水稲よりも低く、水稲の約 70%程度である。しかし、降雨条件に対する収量の変動は水稲よりも小さいため、水稲と比較してその収量は低位安定であると言える。また、陸稲は畑地での栽培であるため、雑草の防除が労働力の観点からも大きな負荷となるなどの問題を抱えている。

一方で、NS 村の近隣に所在する WW 村では、稲作については水田耕作を主体としつつも、こうした急速な普及とは別に、古くから陸稲栽培が平行して行われてきた。ある農家ではおおむね畑地を 3 分割し、各々の圃場でサトウキビと陸稲、トマトを栽培していた（トマトの畑地での栽培は昨年から導入）。今後はこれらの輪作を行うつもりであるという。また、NS 村よりも幾分山がちな立地条件にある他の村落でも伝統的に陸稲が栽培されている模様であった。こうした背景も、周辺地域での陸稲の拡大に寄与している可能性がある。

2.3 MAS ツールの実利用

ここで、農学分野における MAS ツールの実利用に関する事例を紹介する。フランス国際農業開発センター (CIRAD) では、マルチエージェントシミュレーターとしてプログラミング環境を提供する CORMAS を開発している。CORMAS は自然環境や経済・社会条件の制約下で、農家の作目の選択や農地利用の決定などを再現することが可能である。こうしたツールを農民集会等で用いることによって、水・土地資源管理のためのシミュレーションを農家に公開したり結果について議論を深めることができる。また、CORMAS ではグリッドデータだけでなくポリゴンデータも用いることができるため、地理情報システム (GIS) により作成したデータを活用することが可能である。

CIRAD はこれまで定期的に「International Training on MAS, GIS and Integrated Watershed Management」といった研修会を主催してきた。研修会では、各国の関係者が参加し、講義

や演習などを通じて、農民参加型研究および流域管理計画において有効な分析ツールとなる Role Playing Game (RPG) 手法や CORMAS などの理解・習得を促している。

3. モデルの概要

以下、本研究で開発したモデルの概要について述べる。

3.1 モデルの空間構造

モデル空間に 50×50 のグリッドを設け、全グリッド上に農地エージェントを配置した。農地エージェントは属性として立地条件を持つ。立地条件は高位部～低位部を想定し、0～1.0 の値として表現した。

モデルの環境条件として降雨条件も設定した。降雨条件は全ての農地エージェントに対して共通の値として計算ステップ毎に与えられる条件であり、多雨から寡雨までを想定し 0～1.0 に数値化した。この値は乱数により計算ステップ毎に発生させる。なお、当モデルは構造計画研究所がチュートリアル演習用に提供している森林火災モデルを参考にプログラミングを行った。

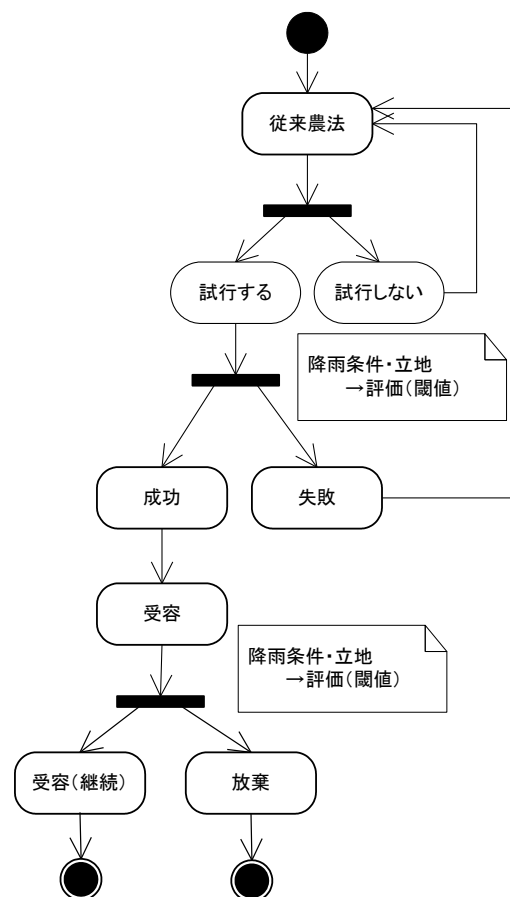


図3 農地エージェントのアクティビティ図 (鈴木他, 2006b)

3.2 エージェントの行動とシミュレーションの流れ

農地エージェントのアクティビティ図を図

3 に示す。農地エージェントは、新しい技術の導入を検討・実施する (=「試行」)。農地の立地条件と降雨条件との組み合わせに応じて図 4 のような評価値が決まる。今回の評価基準としては、多雨条件下で高位部において新技術の成功がより期待されることとした。2年連続で評価値が閾値を上回った場合、農家は技術を「受容」する。また、試行や受容の状態にあるエージェントの周囲 24 マスに位置するエージェントも一定の割合で試行に取り組む。ただし、受容後 2 年間連続で評価値が閾値を下回った場合、その技術を「放棄」する (図 5)。

初期状態から試行する農地エージェントはランダムに選択し、その数はコントロールパネル中の「seed」で選択することができる。ステップ数も同様に、コントロールパネル中の「year」で設定することができる。シミュレーションの実行画面の例を図 6 に示す。

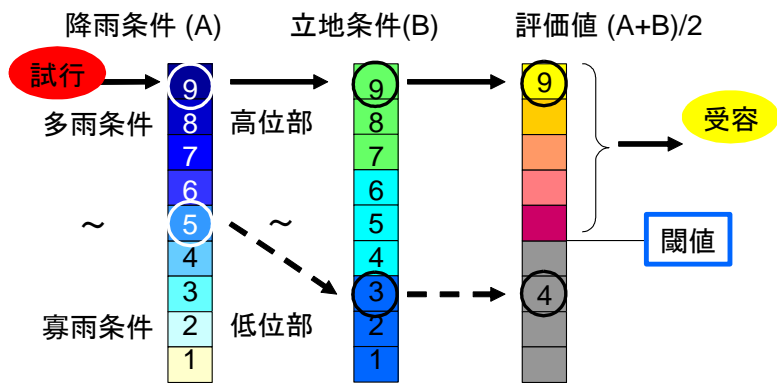


図4 試行から受容の過程

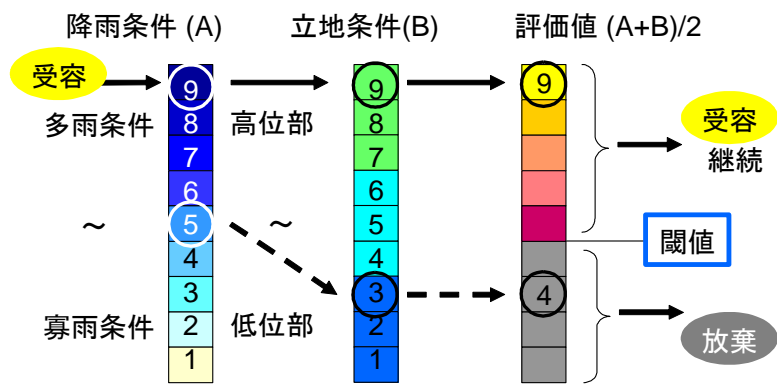


図5 受容から放棄の過程

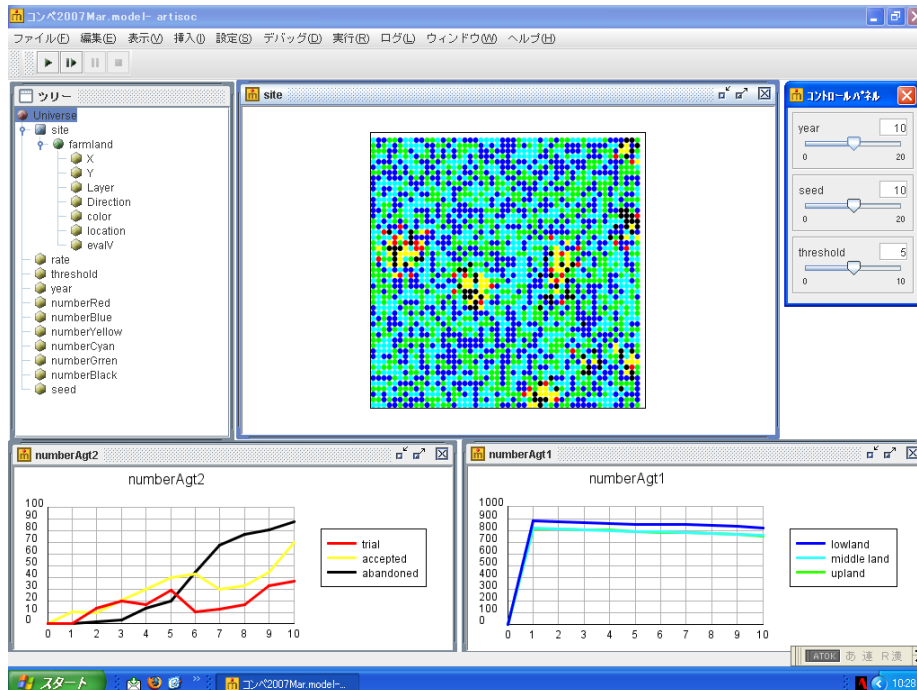


図6 シミュレーションの実行例

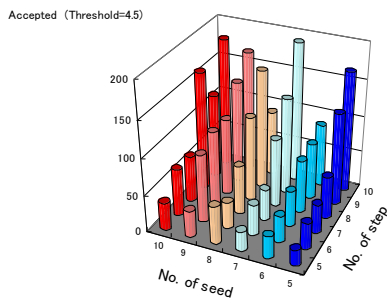
4. 結果と考察

ステップ数とシード数を5~10に変化させてシミュレーションを行った。なお閾値は4.5, 5.0, 5.5の場合の3通りで行った。各計算の最終段階における受容エージェント（受容の状態にある農地エージェント）と放棄エージェント（放棄の状態にある農地エージェント）の数を集計した。各々10回の計算を行った平均値を図7,8に示す。

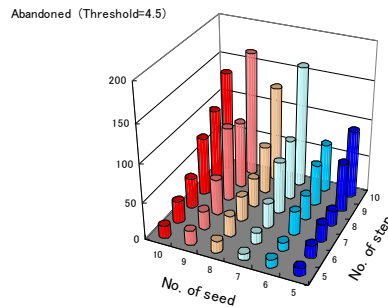
閾値4.5の場合（図7a, 図8a）、ほとんどのシード数で、受容・放棄エージェントの最大値はステップ数10に出現した。これは、農家の受容の基準が甘ければ、多くの場合年を経るに従ってエージェントの数が増加し続けるといった状況が再現されたものと推察される。

閾値5.0の場合も（図7b, 図8b）、一部の例外を除いて同様の傾向があったが、全体として後半のステップにおけるエージェント数の増加率は通減した。

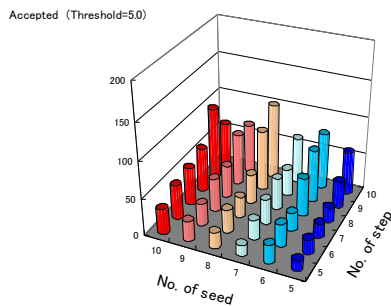
閾値5.5の場合（図7c, 図8c）、特に受容エージェントにおいて、ステップの増加に応じてエージェントの数が増加してゆくという明らかな傾向が見られなくなった。一方で、放棄エージェントには増加傾向が見受けられる。農家の受容の基準が厳しい場合、多くのエージェントの受容に結びつかないという状況が再現されたものと思われる。



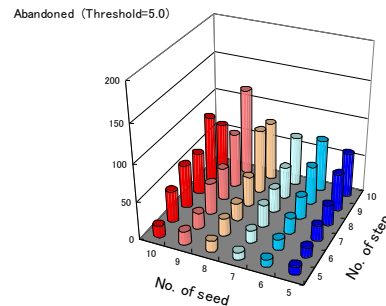
(a)



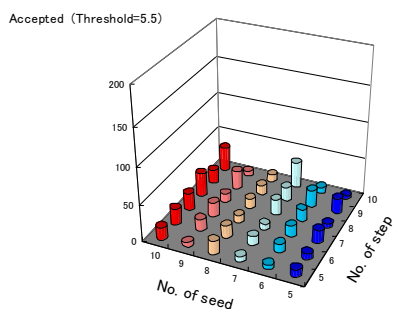
(a)



(b)

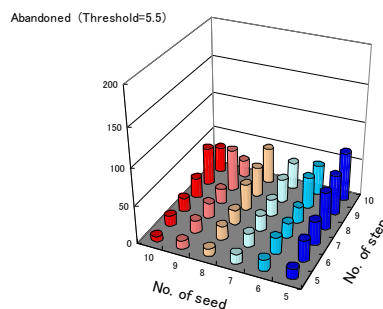


(b)



(c)

図7 受容エージェント数の変化

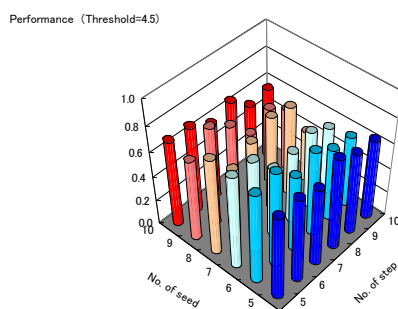


(c)

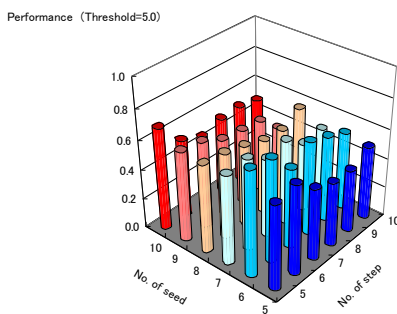
図8 放棄エージェント数の変化

また、「受容エージェント数 / (受容エージェント数+放棄エージェント数)」により算出される値をパフォーマンス値と定義し、集計した (図9)。閾値 4.5 (図9a) および閾値 5.0 (図9b) の場合、ステップ数の増加に伴って全般にパフォーマンスが低下する傾向が見られた。閾値 5.5 の場合 (図9c) は、各 seed 間でばらつきがあるものの、パフォーマンスが上昇傾向にある seed 数のケースと、下降傾向にある seed 数のケースとが観察された。

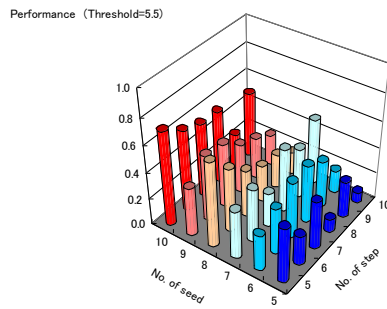
一般に、農業技術の導入を実施するプロジェクトでは、投入可能な時間や資金、人員などの制約下にある。こうした条件下では技術普及の拡大を最大化するためにも、合理的なサイト選定やプロジェクト期間の設定が極めて重要となる。こうした用途を想定したとき、パフォーマンス値などの評価指標が必要となる。



(a)



(b)



(c)

図9 パフォーマンス値の変化

5. まとめ

水条件の経年変動の大きい東北タイにおける農業技術の普及を想定し、マルチエージェントシミュレーターを用いて、その状況を再現するための手法を検討した。今回はエージェントの行動を受容・放棄という単純な二者択一に設定したが、実際には農家が主体的に技術を変化させ、現場に適応した技術として定着する場合がある。今後は、こうした行動もモデルに取り入れる予定である。また、実際の技術受容の具体例に基づいた詳細な設定条件やパラメータ値を与え、モデルの精緻化を進めるためには、以下のような課題に取り組む必要がある。これらを通じて、本モデルの精緻化を進めたいと考える。

- ・農家の志向や労働力の制約、農地面積、リスク許容度といった個別の条件や特性のモデル化。
- ・村長や普及員、研究者等、農業技術を農家に伝達・奨励する役割を担うエージェントや市場の影響の導入 (図 10)。
- ・別途水文モデル等の出力結果を入力値 (水条件) として活用。

5.1 今後の課題 (水文モデルとの結合)

筆者は、東北タイ・天水農業地域の小流域を対象として、水文過程 (水移動・貯留動態) を再現するための分布型のシミュレーションモデルを構築している (Suzuki, *et al*, 2006)。このモデルの応用事例として、稲の収量を推定するサブモデルとの結合による流域内の稲作収量の面的な推定も試みている。このモデルは、流域を 15m のグリッド・セルに区切り、降雨時系列および地理情報を入力データとして、各セルにおける水収支から、セル内の湛水深、土壌水分、地下水位を日単位で計算するものである (図 11)。本モデルにより、表面貯留、表層土層 (0~0.2m) および下層土層 (0.2~1m) における 3 次元方向の水移動が再現され、得られたパラメータから流域全体の水収支を計算することが可能である。こうした水文モデルからの計算結果を MAS モデルの入力値として活用する予定である。

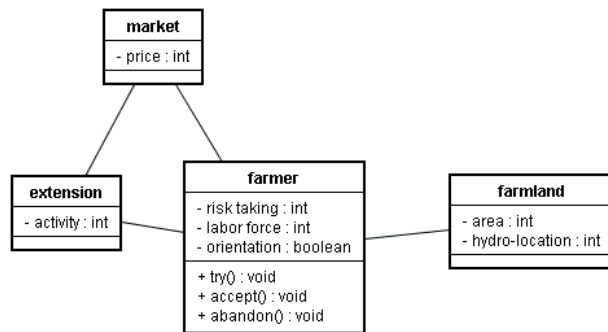


図 10 エージェント追加の例 (クラス図)

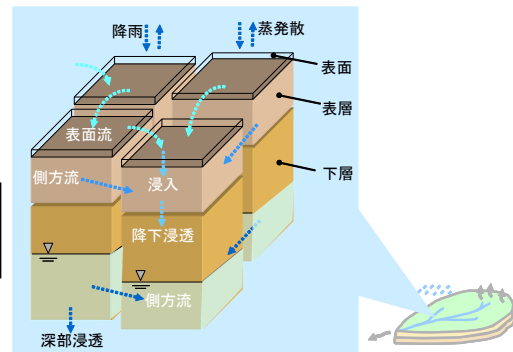


図 11 分布型水文モデルの概念図

引用文献

大内東・山本雅人・川村秀憲, 2002, マルチエージェントシステムの基礎と応用, コロナ社, p.2-3.

国際農林水産業研究センター, 2006, <http://www.jircas.affrc.go.jp/project/tensui/index.html>

<http://www.jircas.affrc.go.jp/kenkyu/katsudou/project/pro02B-1.html>

Konchan, S., Kono, Y., 1996, Spread of Direct Seeding Lowland Rice in Northeast Thailand: Farmers' Adaptation to Economic Growth, 東南アジア研究, 33 (4), pp. 523-546

鈴木研二・後藤 章・水谷正一, 2000, 東北タイ・コンケン県の 2 農村における天水田農業の変容, 農業土木学会誌, 68 (9), pp.39-42.

鈴木研二・三輪 弐, 2006a, 小河川灌漑堰災害を対象とした高解像度衛星画像の目視判読による情報抽出, 写真測量とリモートセンシング, 45 (5), pp.53-58.

鈴木研二・Krailert Taweekul・John S. Caldwell, 2006b, 農業技術の広域拡大に関する MAS 手法の基礎的検討, 2006 年度システム農学会秋季大会, システム農学第 22 巻別号 2, pp.68-69.

Suzuki, K., Yamamoto, Y., and Sukchan, S., 2006, Hydrologic Modeling in Small Watersheds, Increasing Economic Options in Rainfed Agriculture in Indochina through Efficient Use of Water Resources, *Proceedings of JIRCAS Rainfed Agricultural Project Workshop, JIRCAS Working Report No.47*, pp. 11-15.

松田孝二, 2005, マルチエージェントシステムを用いた森林政策の検討, システム農学 21 別号 2, pp.104-105.

山下良平・星野敏, 2005, マルチエージェントシミュレーションによる集落営農計画モデルの開発, 農村計画学会誌, 24 (2), pp.103-114.