

# マルチエージェントシステムを用いた 集落営農シミュレーションモデルの開発

山下 良平 (神戸大学大学院自然科学研究科)  
星野 敏 (神戸大学農学部)  
伊庭 治彦 (神戸大学農学部)

## 1. はじめに

平成 16 年度から本格的に実施された米政策改革大綱では、持続的・安定的な担い手形態として集落営農を明確に位置づけて、将来の地域農業ビジョンの策定を義務づけている。

この地域農業ビジョン策定に向けた組織化を検討する場面において、将来予測に関する様々な情報を提示することにより関係農家の意識啓発を図ることが、集落営農の推進に極めて有効であると考えられる。そこで本研究では、個別農家の農地貸借や農作業受委託という経営行動に関する意思決定をモデル化し、集落営農シミュレーションモデルを開発することを課題とする。ここでは多主体複雑系の解析に適したマルチエージェントシステム (以下、MASと略称) をモデリング手法として用いる。そして、開発された「集落営農計画のためのシミュレーションモデル (Agent-based Simulation Model for Agricultural Planning, 以下ASM&Pと略称) を実際に対象地域で適用し、ASM&Pの可能性や今後の課題を探る<sup>1)</sup>。

## 2. ASM&P の構築

### (1) MAS の概要

MAS とは、個別要素によって構成される複雑な組織を対象として、内在する問題を演繹的思考によって把握・解決する理論である。MAS を適用したシミュレーションでは、まず現実社会の人間の行為を代行する「エージェント(Agent)」の意思決定フローやエージェント間の関係性 (相互作用) を定義する。そして、

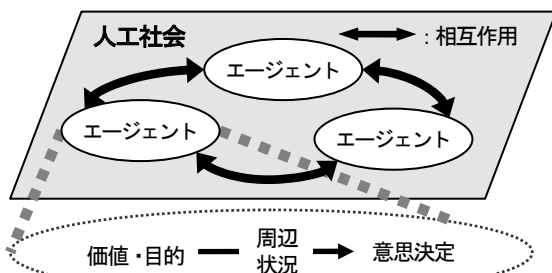


図1 MAS の概念図 (生天目[2] を参考に作成)

「人工社会」でのエージェントの行動と、それらの行動がもたらす社会の大局的な変化を分析することで、現実社会の問題解決に対する提言に結びつける (図 1 参照)。

### (2) 構築の手順

まず、人工社会構築の仮定や条件あるいは農家の意思決定フローを定義して、モデルの基本構造を設計する。次いで対象地域での聞き取りやアンケート調査によって取得した情報をモデルに入力し、ASM&P を完成させる。最後にシミュレーションを実行して、農地貸借や農作業の受委託を通して変化する地域農業の将来予測を行う。ASM&P は操作性・汎用性が高く、様々な課題に対応しうるシミュレーションツールとして貢献が期待される。ここでは、農地保全や集積状況の予測をして、その結果を基に集落営農の組織化に向けた考察を行う。なお、アンケート調査票の構成は概ね表 1 の通りである。

表 1 主なアンケート調査項目と回答形式

項目	備考
家族農業者・後継者の属性、従事の数	年齢 (記入), 性別 (2 択), 在宅・他出別 (2 択), 農外就業の有無 (2 択), 平均年間農業従事日数 (5 択), 平均年間農業従事日数 (記入 and 選択)
営農組合の作業オペレータの意向	当該集落の営農組合への、現在の労働力の抛出状況及び将来的な意向 (あり・なし・条件付きあり)
農家毎の所有耕地の配置、経営面積	所有耕地の字別配置及び受委託・貸借中の耕地面積 (各種面積を記入)
農業機械保有状況	農業機械 (トラクタ・田植機・コンバイン) 保有状況 (2 択), 利用年数 (記入), 更新の意向 (3 択)
農業経営の意向	経営面積に関する意向 (5 択), 個人での作業受託の意向 (4 択), 希望する委託相手 (4 択)
限界の米価水準	経営の継続に限界を感じる米価水準 (6 択)

### (3) モデルの構造

#### 1) シミュレーション空間

対象地域を投影した二次元平面 (X,Y) を考える。

この平面上に農家及び農地を現実の戸数や所有面積に対応させて配置し、シミュレーション空間を作成する。但し、ASMAP では農家宅地、農地以外の土地利用は考慮しない。また、作付作物は水稻と転作作物である麦のみと仮定している。

2) 営農組織及び農家の定義

ASMAP における営農組織及び個別農家の組成を図2に示す。集落総農家数 N, 各家族農業者数 H (H は家族毎に異なる) として、対象地域をモデル化する。

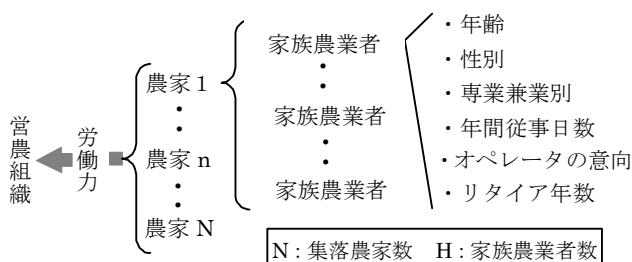


図2 集落営農組織及び農家の組成

ここで、t年後の各指標を下付き添え字<sub>t</sub>で表すとすると、家族農業者数Hの農家(n)が投下可能な労働時間(L<sub>t(n)</sub>)を家族農業者(n, 1~h)の投下可能労働時間(L<sub>t(n,h)</sub>)の合計として(1)式のように定義する。

$$L_{t(n)} = \sum_{h=0}^H L_{t(n,h)} = \sum_{h=0}^K (E_{t(n,h)} \times l_{t(n,h)} \times P_0) \quad (1)$$

(1)式は、一般に農業は基幹作業ほど短期間で集中的に行われる、つまり「1年に農業に従事する日数の少ない者(農繁期のみ等)は、出役する日は長時間作業をし、年間従事日数の多い者は1日あたりの従事時間が平均して短い」という経験的仮説から、年間従事日数(E<sub>t(n,h)</sub>)と、1日あたりの平均労働時間(l<sub>t(n,h)</sub>)の積に、営農組織への労働力の拠出割合を示すパラメータを乗じた値として決定している。アンケートの回答に基づくE<sub>t</sub>と、それに対応するl<sub>t</sub>は表2のように設定する<sup>2)</sup>。出入作はないと仮定して、集落営農組織は営農組合員など集落内の農家が労働力を拠出することによって運営されているものとする<sup>3)</sup>。

表2 個人単位の労働時間算出指標\*

年間平均従事日数 (アンケート回答)	~10	11~30	31~60	61~150	151~
E <sub>t</sub> (日)	5	20	45	105	225
l <sub>t</sub> (h/日)	6	5.5	5	4.5	4

\* E<sub>t</sub>, l<sub>t</sub>とも毎年±50%で誤差項を一様乱数で発生させる。

3) 農業経営に関する意思決定の定式化

図3に個別農家及び集落営農組織の意思決定フロー

を示す。これに従って、全個別農家、営農組織の順に逐次意思決定を行う<sup>4)</sup>。以下にその要点を説明する。

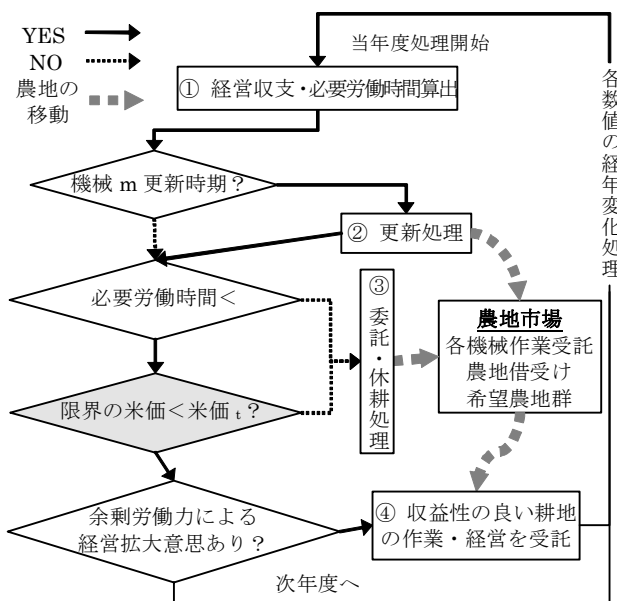


図3 農家(営農組織)の意志決定フロー\*

\* ASMAP では営農組織も農家エージェントの一形態(特殊な個別農家)として扱う。基本的には同じ意思決定構造を持つが、最終的な農地の受け皿としての役割をより明確に表現するため、米価の下落による休耕判断(網掛け部分)は行わないものとする。

① 経営収支・必要労働時間 農地1筆毎の経営収支と必要労働時間を表3に示す分類に従って計算し、これらの情報を基に経営拡大の際の獲得農地や、労働力減少に伴う休耕地の序列を決定する。その年に必要な労働時間は、経営耕地一筆毎の作付に必要な労働時間の和と考える。

② 保有機械の更新判断 保有機械の利用年数が当該機械の耐用年数に達すると、更新意思のない農家は、これまで行っていた機械作業に対して他者へ委託希望を出す。ASMAPで扱う機械の耐用年数は、実情に即して法定耐用年数より長く見積もる<sup>5)</sup>。

③ 休耕判断 労働力が減少して、必要な労働時間を充足できない場合に、労働生産性(所得/労働時間)の低い農地より順に超過分を休耕する。また、農家は各々の「経営を継続することに限界を感じる米価水準」まで米価が下落した場合には、その時点で全ての農地に対して貸付希望を出す。

④ 作業受託・借地経営 作業受託面積の拡大や借地による経営拡大の意思のある農家は、他農家が出した委託希望や貸付希望から余剰労働力の範囲内で受託・借地を行う。受け手農家は、全ての作業受託希望・借地希望農地を対象にして、期待される収入と必要作業時間を計算し、労働生産性の高い順に序列化して請け

表 3 関係農家の構造に従う農地の分類と農地毎の経営収支・労働時間の定義式

所有者	経営者	機械作業	分類	経営収支の定義式 (単位: 円)	必要労働時間の定義式 (単位: 時間)
				$Y_r$ : 米収量, $P_r$ : 米価, $C_v$ : 変動費, $S$ : 耕地面積, $P_m$ : 機械価格, $\alpha$ : 機械購入時の農外資本投入率, $D$ : 機械利用(予定)年数, $W$ : 機械稼働面積(経営耕地), $f_1$ : 標準小作料, $f_2$ : 作業料金	$T_c$ : (管理作業など) 機械作業以外の作業時間, $T_m$ : 機械作業時間, $\delta$ : 通作距離による労働時間重み, $R$ : 集積に伴う省力化の効果, $d$ : 通作距離
自分	自分	自分	自己	$(Y_r \times P_r - C_v) \times S_{(x,y)} - \sum_{k=1}^3 \{ (P_m_k \times \alpha) / (D_k \times W_{kt}) \}$	$\{ T_c + \sum_{k=1}^3 (T_m_k \times R_{(x,y)}) \} \times S_{(x,y)} \times \delta^{(d(x,y)-1)}$
		他者	委託	$(Y_r \times P_r - C_v) \times S_{(x,y)} - \sum_{k=1}^3 f_2_k \times S_{(x,y)}$	$\{ T_c + \sum_{k=1}^3 (T_m_k \times R_{(x,y)}) \} \times S_{(x,y)} \times \delta^{(d(x,y)-1)}$
	他者	他者	貸付	$f_1 \times S_{(x,y)}$	0
他者	自分	自分	借受	$(Y_r \times P_r - C_v - f_1) \times S_{(x,y)} - \sum_{k=1}^3 \{ (P_m_k \times \alpha) / (D_k \times W_{kt}) \}$	$\{ T_c + \sum_{k=1}^3 (T_m_k \times R_{(x,y)}) \} \times S_{(x,y)} \times \delta^{(d(x,y)-1)}$
	他者	自分	受託	$\sum_{k=1}^3 f_2_k \times S_{(x,y)}$	$\sum_{k=1}^3 (T_m_k \times R_{(x,y)}) \times S_{(x,y)} \times \delta^{(d(x,y)-1)}$

- ・下付き添え字 k 1~3は, それぞれ 1. トラクタ (耕起), 2. 田植機 (田植え), 3. コンバイン (刈り取り) を意味する。
- ・作業委託及び作業受託においては, 実際に行った作業のみ  $T_{m_k}$  を考慮し, それ以外の場合  $T_{m_k} = 0$  とする。同様に作業料金も委託した (請け負った) 場合のみ考慮し, それ以外は 0 である。
- ・下付き添え字  $(x, y)$  は, 座標  $(x, y)$  にある農地に関するパラメータであることを意味する。
- ・各パラメータは 10a あたりの単位量として設定している。
- ・便宜上,  $R$  を 1~0.7,  $\delta$  を概ね 1.03 程度,  $d$  はシミュレーション空間上の直線距離で仮定している。

負う農地を決定する。

4) 転作の扱いについて<sup>6)</sup>

ASMAP では, 転作作物として麦作を導入した。但し, 現段階では個人への転作面積の割り当ては行わず, 営農組織や特定の大規模農家のみが受託して取り組む構造である。そのような主体が存在しない地域では転作割り当て分の休耕を実施するという処理になる。つまり, 当該農地の作付には転作の義務が必ず付随する。なお, 転作割り当て面積率はシミュレーションを通して一定であると仮定する。

(4) 対象地域とそのモデル化

1) 概要

本研究では, 兵庫県加西市 H 地区を事例にモデルを構築した。兵庫県中西部に位置する H 地区は, 総農家数 116 戸, 総農家人口 724 人, 総耕地面積 56.96 ha の平地農業地域である (2000 年度農業集落カードより)。H 地区では, 地縁を元に 4 つの営農組合が存在し, それぞれが独立して農業経営を行っている (表 4 参照)。

2) 課題の設定

H 地区では今後の米政策の行方をにらみ, 特定農

業団体の面積要件を考慮して<sup>7)</sup>, 既に集落営農を実施している営農組合を中心に全営農組合の統合を検討している。しかしながら, 活動形態の違いから足並みが揃わず, 組織化に向けた合意形成が進展していない。

そこで, 唯一個人経営が多く残る第 2 営農組合 (以下, 組合と略称) に着目して, 組合の活動をより組織的にすることで, どのような影響がどの程度見込まれるか, さらに全ての営農組合が統合することによりどの程度経営の合理化が図れるかを ASMAP によって予測する。本報では, まず組合の組織化効果に焦点を当てて分析を行う。

3) 組合の概要と農家アンケートの結果

現在組合は, オペレータ 6 人体制であり, 水稻作基幹 3 作業の受託 (依頼者の申込み制) を行うとともに, 転作割り当て分を一括して管理している。

ここで, 個別農家の現況や農業経営に関する意向を把握するため, 2004 年 8 月に組合員全農家対象にアンケート調査を行った。その結果, 機械を購入して個人経営を継続する意向も見られた他, 管理が困難になった農地の管理を委託したい相手など, 表 5 に示すような結果が得られた。

4) モデル化

実際の地形図及び農家宅地・営農組合倉庫の位置, 各農家の経営面積や位置を再現して, 図 4 に示す人工集落を構築した。農地は作付地, 保全管理地 (受託者待ち・借り手待ち), 放棄地の 3 段階で色分けされる。そして, 農家の経営行動を規定するパラメータの決定には個別アンケートの結果が反映される。

表 4 H 地区各農業組合の比較 (2003 年度組合作成資料より)

	第 1 営農組合	第 2 営農組合	第 3 営農組合	第 4 営農組合
農家戸数	24 戸	31 戸	24 戸	30 戸
経営面積	12.45 ha	14.38 ha	14.50 ha	13.61 ha
活動形態	一部個人作業	個人・組合併存	集落営農	一部個人作業

・「一部個人作業」は草刈りなど, 基幹作業外の一部が地権者負担になっている他は, ほぼ集落営農の状態。「個人・組合併存」は, 主として基幹 3 作業のみの受託組織である営農組合と個人経営が併存している。

表5 農業経営に関する個人の意向の主な回答(一部)

質問内容	回答
機械の保有状況(台)	トラクタ:19, 田植機:12, コンバイン:12
更新意思ありの人数	トラクタ:5, 田植機:1, コンバイン:2
作業受託面積の意向別人数	増やす:1, 維持:3, 減らす:2, 受託なし:22
自身が離農後の農地委託先希望別人数	組合:18, 組合以外の個人:6, 離農しても土地を放さない:6, その他:1

(その他の項目の詳細は割愛)

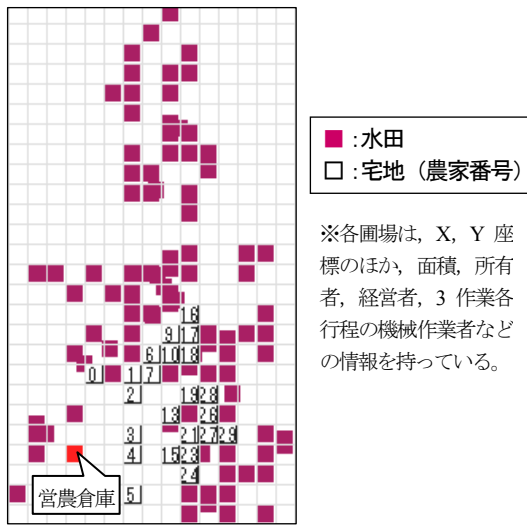


図4 人工集落(一部飛び地を割愛)

### 3. シミュレーション分析

#### (1) 分析の枠組み

通常の将来予測 (Case1), 「個別経営尊重型の集落営農」の場合 (Case2), 「完全な集落営農」を実行した場合 (Case3) の3種類のシナリオを設定し, 20年後のシミュレーション結果を比較する。通常の将来予測は, アンケートから把握した現在の機械保有状況や今後の意向を忠実に反映させた。個別経営尊重型とは, 全ての農家が個人で機械を更新せず, 個人では経営が困難になった際に営農組合に管理を委託し, 家族農業者もオペレータとして共同経営に参加するという状態である。また, 完全な集落営農とは, 初期段階から全ての個別農家は機械を保有せず, 全農地を組合が管理し, 地区内全農業者による完全な共同経営が行われている状態を想定したものである。モデルの構造的には, Case2の初期状態はCase1と同様であるが, ①全ての農家の「希望する委託相手」を「営農組合」に, ②全ての農家の「機械更新意思」を「更新しない」に, ③大半<sup>8)</sup>の農業者の「オペレータへの参加意向」を「オペレータを希望する」にする等の処理で, 仮想的

に集落営農を表現する。Case3は, 初期状態から「全ての農地が営農組合の借地」であり, 「全ての農業者の労働力が営農組合に結集されている」状態にする。

#### (2) シミュレーション結果と考察

図5に, 20年後の農地保全予測図を示す。Case1では, ほぼ全域に放棄地が発現しているほか, 既に経営者が管理しきれない状態にある保全管理地も多数見取れる<sup>9)</sup>。放棄地面積の推移 (図6) を見ると, 20年後の放棄地面積は概ね6.5haと予測された。この数値は放棄地面積が0である2003年度の全耕地面積と比較して約45%に相当する。現実的には, 放棄田が農地集積を阻害したり, 水利系の管理機能が低下したりするなど, 個別農家の離農に伴う「負の連鎖」も懸念され, 潜在的な耕作放棄も多分に発生しうると推察される。以上の結果から, 組合の活動を組織化することは, 農地保全の観点から妥当な方向であると言える。

しかしながら, Case2およびCase3における放棄地面積が15年後過ぎに急上昇し, 試行によってはCase1とほぼ同水準にも上ることは注視すべきである。つまり, 集落営農により当面は効率的な農業経営を維持できるが, 中長期的なスパンで考えると, 現在の組合規模や農地面積では, 結果的には労働力の不足による放棄地が発生することが予測された。そしてこの結果は, 最終的にH地区全体で効率的かつ持続的な営農システムを形成することの必要性を示唆していると言える。

また, Case2とCase3には殆ど有意な差が見られなかったという点も興味深い。つまり, 必ずしも現段階で完全な集落営農を組織出来なくとも, 全ての関係農家に営農組合の取り組みに対する理解と協力があれば, 将来的には大きな影響はないと予測されたことになる。

### 4. おわりに

本報では, 集落営農を計画する兵庫県加西市H地区を対象としてモデルを構築し, シミュレーションによって集落営農の効果を把握した。次の段階として全営農組合の統合がモデル化できれば, さらなる省力化や経営合理化の効果を分析することが可能となり, 本報での結果と併せて, 地域農業の組織化推進に向けて有益な情報提供が期待できよう。

またASMAPでは考慮していないが, 土壌条件や作業条件の優劣による収量や作業時間への影響や, 水利条件による圃場連鎖, 「管理作業時間」として一括している作業区分を具体的にモデルに反映させると, より現実的なシミュレーションが可能となる。さらに

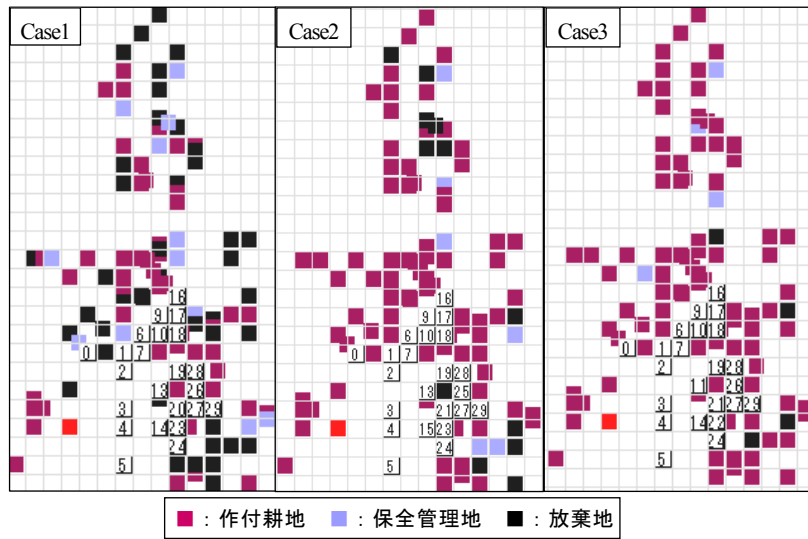


図5 20年後の農地保全状況の予測図

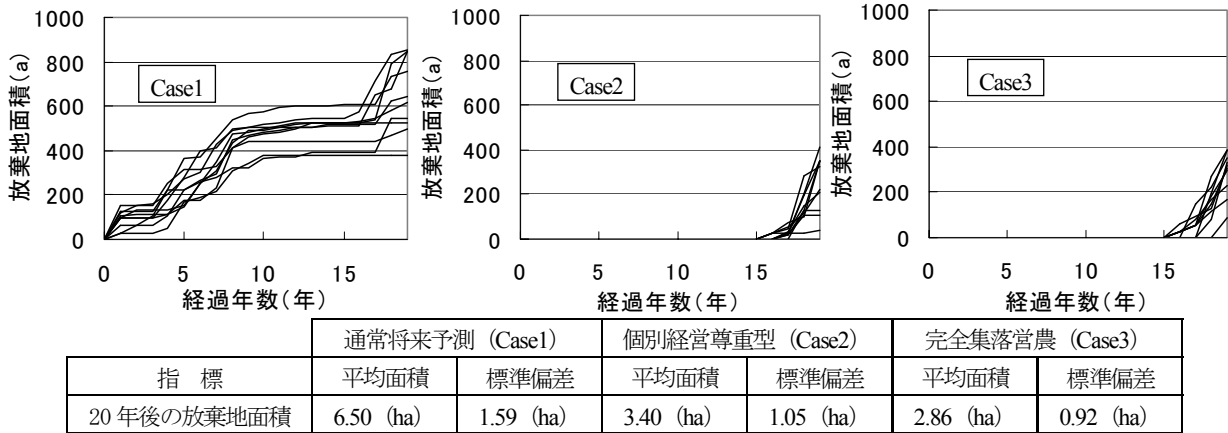


図6 シミュレーションによる放棄地面積推移の10回試行結果 ( 図中の各折れ線は1回の試行結果を示す)

生産調整やほ場整備などの政策的なシナリオの導入によって、政策分析のツールとしても応用出来ると考える。

最後に今後の展開に向けた課題を挙げる。現行のモデルでは、アンケートによる個別の意向を反映させているが、農家・組織ともに「労働力の範囲内で所有面積を作付けする」という単調な行動原理になっている。この点に関して、現実の農家の経営行動や営農組織の活動方針をさらに緻密に調査し、特に農家(組織)の経営指標に着目してモデルを改良していく必要があると考える。現時点では営農組合のオペレータとして参加することに対して、期待できる利益水準によって意向が変化しないことを仮定しているが、実際には、多くの場合で参加の可否は利益水準によって判断しているとも推察できる。となれば、Case2 や Case3 でのシミュレーション結果がさらに大きく悪化することも考えられる。追加的な調査によって意思決定機構を精緻化し、予測結果の妥当性を高めなければならない。

なお、本研究の遂行にあたり、平成16年度JA研究助成事業研究奨励費(一般研究)を使用した。

- 注1) ASMAPは農業経営モデルとして初めてMASを適用し、人工社会で実験的試行を行ったCALLモデル[1]を改良したものである。
- 2)  $I_0$ の設定に関して、現段階ではアンケート結果を用いた仮説の検証は行えていないが、今後適用事例を重ねていくなかで、検証作業を進めていく必要がある。
- 3) 営農組織が存在せず、個人経営のみの地域が対象の場合は、そのような設定でシミュレーションを行うことも可能である。なお、ASMAPでは予測期間を自由に設定できるが、本報では20年予測を行う。また、労働力の発生(出生)は考慮せず、新規労働力に関しては、他出の後継者の帰農と同居の家族員の婚姻による配偶者の増加のみを、それぞれ確率的な事象として処理する。
- 4) さらに、個別農家の意思決定の順序はシミュレーション試行ごとにランダムに決定される。つまり、経営拡大意思のある農家が受託・借地農地群を探索する順序

- は一定ではない。
- 5) アンケートで、「今までの利用年数」と「今後の利用予定年数」を聞き、双方の結果から推察している。
  - 6) 生産調整制度を取り巻く環境が3年ごとに見直されるため、中長期の予測では仮定をおかざるを得ない。
  - 7) 現行の制度では、重点的な担い手として助成対象となる面積要件は「約20haの経営面積を有すること」であるが、各営農組合の経営面積はいずれも単独ではこれに満たない。
  - 8) 現在農業に従事している農業者に限る。すなわち農業従事者の人数自体は同じである。
  - 9) 図6では、シミュレーション開始直後を含めて急激に放棄地が増加する部分が数カ所確認できる。これは、農家の休耕判断に「限界を感じる水準まで米価が下落したら休耕する」を導入し、その米価に達した時に一

度に休耕をするという行動が為されているためであると推察する。現実的にはアンケートで回答した額より幾分か低いであろうし、1度に全ての農地を休耕にするとは限らない。休耕に至る要因(基準)は複雑であり、この点の解明し、モデル化することが重要な課題であると考ええる。

#### 参考文献

- [1] 山下 良平・星野 敏「マルチエージェントシステムを適用した集落農地貸借モデルの開発」『農村計画論文集』, 第4巻, 2003, pp85-90
- [2] 生天目 章『マルチエージェントと複雑系』, 森北出版, 1998, p13,p31.