

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

Development of the Model for Organizing Collective Farming System
Applied Multi-agent Simulation

山下 良平*・星野 敏**

Ryohei YAMASHITA and Satoshi HOSHINO

I 問題意識と研究の枠組み

1 研究背景と課題

2004年度から始まる本格的な米政策改革の具体策となる基本要綱が決定され、担い手経営安定対策などの方針が明確化された。これを受けて、自治体・集落レベルでの営農ビジョンの策定とその実現に向けた農家の組織化対応が急務となっている。組織化に向けた農家の動機付けを強化する事が不可欠であるが、そのためには、地域農業の将来に関する予測情報の提供が極めて有効である。

地域農業レベルでの計画手法に関しては、従来より線形計画法あるいはそれに類する数理計画法を用いた方法が提案されている。たとえば能美は一連の研究^{注1)}で、小地域対象の計量的計画手法の意義と課題を体系的に評価し、地域農業の組織化の重要な要件を指摘している。これらは経営最適化により組織化への方策を論じているが、少数の農家を前提にしたものである。また、遠藤¹⁾は、棚田の計画的保全を目的として、マイクロシミュレーションによって労働力に依存する農地面積変化の予測を行っている。しかし、農業経営の組織化を目的として、多数の農家間の相互作用、すなわち農地貸借や作業受委託を正面から取り込んだ地域農業モデルは、十分研究されてきたとは言

ない。

そこで本論文では、農村集落内で、異なる経営資源や経営意向を有した多数の農家による営農活動の総体を、マルチエージェントシステム (Multi-Agent Systems, 以下, MAS と略称) として捉え、農業構造の動態を解析する新しい手法として、エージェントベース地域農業シミュレーションモデル (Agent-based Simulation Model for Agricultural Planning: 以下, ASMAP と略称) を構築する。次いで、対象地域での ASMAP の適用結果を基に、その操作性・妥当性を検証する。最後に、ASMAPP の課題を考察し、今後の可能性を提示する。

2 分析の枠組み

本研究の枠組みを図 1 に示す。ASMAPP は、空間、意思決定主体 (農家)、および地域農業をとりまく状況変数によって構成され、統一的な基礎構造に対して、対象地域の固有のデータを投入し、詳細部分を決定することで成立する。

分析では、まず対象農業集落を現地調査や統計資料から得られた情報を基にシミュレーション空間を決定する。次いで農家に関する情報をアンケート調査や聞き取りなどにより収集し、類型別の農家数や意思決定の基準に関するパラメータを調節する。そして、農地貸借や農作業受委託を通して変化する農業構造や集落全体の農地保全状況を

* 神戸大学大学院自然科学研究科 Graduate School of Science and Technology, Kobe University

** 神戸大学農学部 Faculty of Agriculture, Kobe University

Key Words : 1) マルチエージェントシステム, 2) シミュレーション, 3) 集落営農計画モデルの開発, 4) 農業構造, 5) 農作業委託

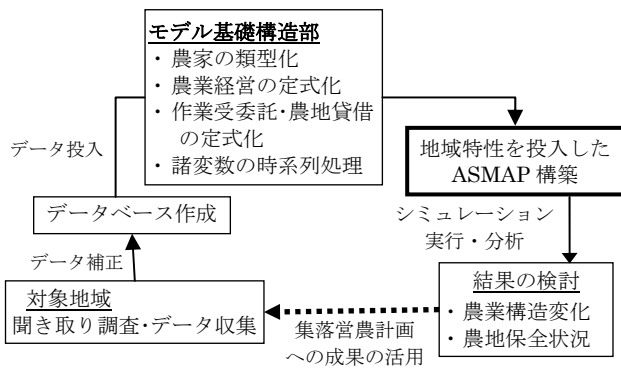


図1 研究の枠組みとモデルの位置づけ

Fig.1 The framework of this research and position of the ASMAP

予測することによって、地域農業における問題構造の把握や計画策定の支援を目的とする。

II MASの概要と先行研究

1 MASとは

社会現象や人間活動の分析・予測に際して、それらの重要な要素をコンピュータ上に投影した「人工社会」モデルによる実験的な研究手法は、Schellingが近隣自己社会形成モデル^{注2)}を提示して以降、広範な適用が試みられている。MASは、全体を同時に管理することが困難な複雑な事象を対象に、モデル化された人工社会において、多様な主体（以下、エージェント）の行動及び相互作用に注目して、それらの総合として全体の性質や変化を演繹的に捉える方法論である。MASの適用により、既存の手法では困難であった複雑な社会の将来を予測し、様々な分析を試みる事が可能となった。図2は、Alexis Drogoul et al.³⁾を参考に、MASの重要な要素を抽出して作成した概念図である。

2 農村計画関連分野への応用

農村計画分野へのMASの応用事例には、橋本らによるASM⁴⁾がある。ASMは、住民参加による土地利用計画案の時間的・空間的な変化をエージェント同士の相互作用による意思決定の過程として捉え、土地利用計画に関する意思決定の空間的な変化を予測するモデルである。

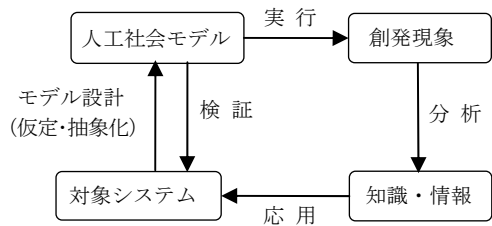


図2 MASの人工社会モデルの概念図
Fig.2 Conceptual diagram of artificial society model by MAS

農業経営分野に関して、多数の農家による土地取引を自律的な意思決定主体間の相互作用と捉え、農業構造変化の予測モデルを構築した事例として、Balmann, A.⁵⁾が挙げられる。Balmannは、EU統合前のドイツ農村部を対象に、当時の急激な社会変動と農産物流通の自由化・国際化を背景に、様々な政策シナリオを設定して、階層分化や農業収入の推移予測を行っている。中長期的な予測結果を基に、広域農業政策に対して有益な指針を提示しているものの、完全自由競争である農地市場を仮定していること、農地の基本単位が非常に大きいこと、新規農地の獲得が農家同士の入札形式で行われていることなどから、我が国の農山村地域分析にはそのまま適用できると思われない。

集落内の農地貸借行動を対象にしたモデルでは、筆者らが開発したCALLモデル (Community-based Agricultural Land Lease Model)⁶⁾がある。しかし、農業機械の保有・更新を考慮しておらず、また農作業受委託を扱っていない点で、モデルが構造的に不完全であり、現実的な意思決定への改善や、結果の検討が必要であった。ASMAPは、CALLモデルの問題点を踏まえ、構造を精緻化したほか、対象地域を基に検証を行い、普及に向けて全面的に改良を加えたものである。

III 対象地域の概要とデータ

1 対象集落の概要

対象地域として、兵庫県神崎町Y集落を選定した。神崎町は兵庫県のほぼ中央に位置する総面積105.10km²の農山村地域である。Y集落は町の中心

部に位置し、農業生産条件と生活利便性はともに良好である。町役場へのヒアリング調査によると、現在転作に関しては営農組合が完全に割当て面積を請け負い、組織的な取り組みを行っているほか、集落活性化に向けて都市農村交流やオーナー制貸し農園など集落農業の多角化を計画中である。しかし、稲作に関しては個人経営の意向が根強く残り、将来的な集落農業の継続が危惧される。そこで、米政策改革への対応を契機に、水稻作の組織化に向けた協議が進められている。

2 調査項目

2003年11月に個別農家の経営主を対象に農業経営に関するアンケート調査を実施し、当該農家の現状や意向に関する情報を取得した（総農家数約100^{注3)}；回収数94）。表1は、本研究で農家の意思決定構造の設計に用いた項目である^{注4)}。また同時に、2000年世界農林業センサス農業集落カード（兵庫県）より、過去の集落データも取得した。ASMAPの構築にはこれらの情報を用いた。

IV ASMAPの構造

1 モデル構築に伴う仮定

シミュレーションに際して、主に以下のような

表1 モデル構築に活用した調査項目と回答形式
Table1 Items of the questionnaire for the model building

項目	備考
経営主の属性	年齢（直接記入）、性別（2択）、農外就業の有無（2択）
後継者・家族農業者の属性	年齢（直接記入）、性別（2択）、在宅他出別（2択）、農外就業の有無（2択）
農業従事者の程度	平均的な年間農業（水稻作）従事日数（5
農家毎の所有耕地の配置及び経営面積	各農家の所有耕地の字別配置及び受委託・貸借中の耕地面積（字別に各種耕地面積を直接記入）
農業機械保有状況	農業機械（トラクター・田植機・コンバイン）の保有状況（2択）と機械更新の意向（あり・なし・未定）
営農組合の作業オペレータ勤務意向	当該集落の営農組合に対して、現在の労働力の状況及び将来的な意向（あり・なし・条件付きあり）
農業継続の意向	今後農業に求める所得水準など（複数回答）

仮定を設けた。なお、予測期間は30年とする^{注5)}。

- (1)便宜的に農地を全て水田と扱い、現時点での転作面積は予め除外して作付作物は米に限定する。
- (2)農地の売買はない。また、作付けに係る作業工程を「機械作業」と「管理作業（機械作業以外）」に大別し、機械作業は便宜的に耕起・田植え・刈り取りの3種類とする。機械作業のみ他農家に依頼することを「作業委託」、機械作業・管理作業両方を依頼することを「農地貸付」とする^{注6)}。
- (3)各作業の作業料金や農地貸借に係る小作料は一律とする。つまり、個人間の交渉により料金が変動することはない。
- (4)集落外からの労働力や農業機械の供給はなく、営農組合のオペレータは集落内の農業者のみから構成される。

2 空間のモデル化

地形図と表2に示すセンサスデータを基にY集落の形状を模擬し、図3のようなシミュレーション空間を作成した。ここには、アンケート調査から得られた各農家の宅地と所有農地の所在地をそ

表2 Y集落の土地利用関連の統計値（～2000）とモデルパラメータの設定値

Table2 Statistics on land use in Y community and the parameter values

項目	1990年	1995年	2000年	設定値(2003)
農家数(戸)	93	94	95	100※ ¹⁾
水稻作付面積(a)	2520	2594	—	2600
放棄地面積(a)	18	—	14	0※ ²⁾

（農業集落カード(2000)より、「—」はデータなし）
 ※¹⁾うち1戸は「他の農家が労働力を拠出して構成する仮想的な農家」として営農組合を想定
 ※²⁾本シミュレーションでは、放棄地は再耕作不能な土地と定義するため、初期状態の放棄地面積を予め除外した。

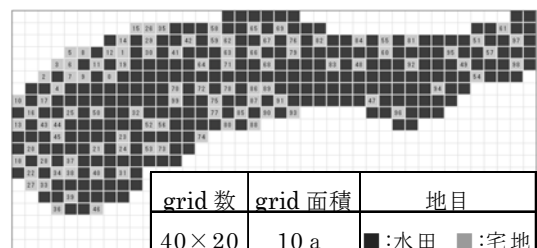


図3 シミュレーション空間
Fig.3 The plane of the study area

それぞれ空間内の配置に反映させている。なお、個々のグリッドは独立した耕地（水田）であるとする。

3 農家の定義

(1) 年間可能労働時間の定式化

モデル内において、初年度より t 年後における農家番号(N)、家族員番号(k)の農業者個人(N, k)の年間農業従事日数($E_{t(N,k)}$)を、年齢($A_{t(N,k)}$)、性別(S)、営農組合作業オペレータ勤務の可否によって規定する（以下、添え字 t は t 年後の数値を示す）。

ところで、一般に水稲作の基幹作業は短期間で集中的に行われる。つまり「1年に水稲作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」と考えられる。また、ここでは畑作を想定しないため、水稲作に費やされる作業時間のみを考慮すると仮定している。これらの点を踏まえ、農業者(N, k)が当年度の水稲作に投下可能な労働時間 ($L_{t(N,k)}$) の基本単位量を、従事日数 ($E_{t(N,k)}$) と、1日あたりの平均労働時間 ($I_{t(N,k)}$) の積と定義し、表3のように数値を決定する。

つまり、($L_{t(N,k)}$) を次式によって算出する。

$$L_{t(N,k)} = E_{t(N,k)} \times I_{t(N,k)} \times P_s \times (1 - P_o) \quad (1)$$

ここで、 P_s : 労働力男女比（男：女 = 1 : 0.6 に設定）^{注7)}、 P_o : 営農組合への労働力拠出率（オペレータ作業者に限り 2/3 に設定）である。

従って、当年度の家族農業者(K)人の農家(N)保有労働力 ($L_{t(N)}$) は次式によ

って定める。

$$L_{t(N)} = \sum_{k=1}^K L_{t(N,k)} \quad (2)$$

各農家は $L_{t(N)}$ の範囲内で当年度の水稲作経営を行うものとする。なお、 $E_{t(N,k)}$ やオペレータ参加への意向が変化するのは便宜上 $A_{t(N,k)} = 18$ もしくは 60（離農と帰農を想定）の時のみとし、それ以外は不変であるとする。

(2) 経営に関する意思決定

農家が行う意思決定のフローを図4に示す。モデル内の農家は、既定の基本的意思決定パターンに対して、自らの経営面積・労働力・農業機械の状態を参照しながら条件判断を行っていく。以下に主要な意思決定項目の詳細な説明を加える。

(i) 各種農業機械更新処理

本モデルで考慮する機械作業を基幹3作業のみとする前述の仮定を受け、同様に機械もトラクタ、田植機、コンバインの3種類とする。機械の性能

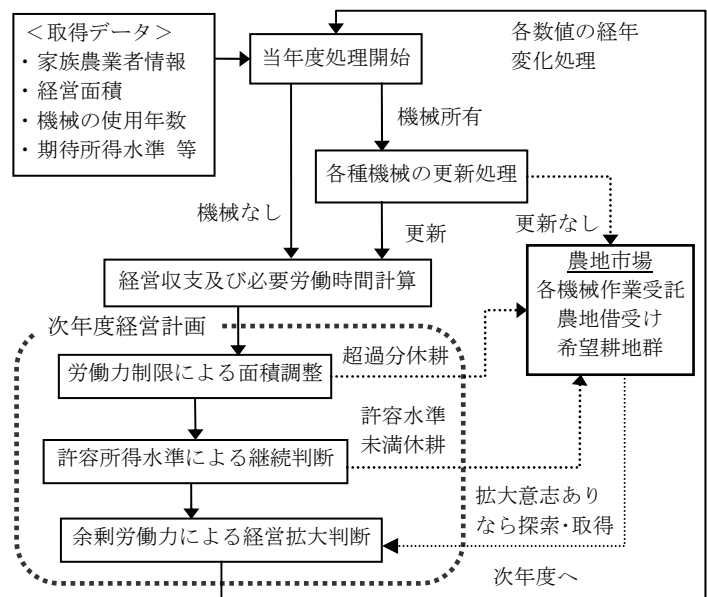


図4 農家の意志決定フロー
Fig.4 Flow of farmer's decision making

表4 農業機械の価格と耐用年数※
Table4 Durable years and prices of the machines

機械種類	動力耕耘機	田植機	コンバイン
価格 (万円)	50	200	200
耐用年数 (年)	20	15	15
作業時間 (h/10a)	3.5	3.5	3.5

※ 日本農業機械化協会 Website: <http://nitinoki.or.jp/> 参照

表3 個人単位の労働時間算出指標 ※
Table3 Index for estimation of individual labor hours

年間平均従事日数 (アンケート回答)	~10	11~30	31~60	61~150	151~
E_t (日)	5	20	45	105	225
I_t (h/日)	5	4	3	3	2

※ E_t , I_t と ±50% で誤差項を発生させ、不均一さを表現する。

差や価格差はないものとし、一貫して表 4 のように扱う。

まず、アンケート調査により得られた現時点までの機械利用年数が個別に設定される。そしてある年数が経過し、保有機械の利用年数が表 4 に示す耐用年数に達した時に、「機械の更新意思がある」と回答した農家は無条件に更新するものとする。「未定」の農家は、更新し、十分な使用が見込まれるだけの労働力（従事日数・利用予定期間）があるか否かによって判断すると推察されるため、年間従事日数が 31 日以上（機械作業を行うに十分な日数）の当該農家経営主が次の更新時期まで利用出来る見込みがあれば機械を更新し、それ以外は更新しないものとする。つまり、リタイア年齢を $R_{(N,k)}$ とすると注 8), 『 $R_{(N,経営主)} - A_{t(N,経営主)} \geq$ 対象機械の耐用年数 (但し $E_{t(N,経営主)} \geq 31$)』が成立する時に機械更新が行われる。対象機械を更新しない場合、その機械が分担する作業を他農家に委託するため、後述する農作業受託対象地に分類される。営農組合は常に機械を保有しているとし、この一連の意思決定は行わない。

(ii) 経営収支計算及び時間コストの定義式

表 5 に示すように、本モデルでは土地の所有者、経営者、機械作業者が誰であるかによって耕地を区分する。各々の区分での 10a あたりの所得を以下のように計算する。以下、説明の対象となる耕地のモデル空間上での座標を (X, Y) とし、各種

表 5 耕地の分類と関係農家の構造
Table5 Classification of farmland by owner, manager and machine operator

所有者	経営者	機械業者*	分類
自分	自分	自分	自己完結型
		他農家	委託耕地
	他農家	自分	／
		他農家	／
他農家	自分	自分	借受耕地
		他農家	／
	他農家	自分	受託耕地
		他農家	／

* 単線の斜線部分は他農家から見た「自己完結型」に相当。二重斜線は定義なし。本モデルでは自家以外の複数農家に機械作業を委託する状態を考慮しない。すなわち、機械作業は「全て自己の機械で行う」か、「自分と他農家」で行う状態のみとする。なお、1 作業でも他農家に委託している耕地の機械業者は、その受託農家であるとして扱う。

パラメータの添え字は、当該耕地に関するものである。

自己完結型・借受耕地 土地所有者自らが全ての機械を保有し、他者に依存することなく農業経営を行っている耕地、もしくはそのような農家の借地経営における農業所得 $I_{(X,Y)}$ (円/10a) は、

$$I_{(X,Y)} = Y_t \times F_{(X,Y)} \times Pr_t - Cv - \sum_{k=1}^3 \{ (Pm_k \times (1-\alpha)) / (D_k \times M_{kt}) \} - f_l \quad (3)$$

と定式化する。ここで、 Y_t : 10aあたりの平均収量 (kg), Pr_t : 現在より t 年後の米価 (円/kg), $F_{(X,Y)}$: 土地 (X, Y) の相対肥沃度を表すパラメータ, Cv : 変動財費用の単位量 (円/10a), k : 機械種類 (1. トラクタ, 2. 田植機, 3. コンバイン) 及び機械 k による作業, Pm_k : 機械 k の価格 (円), α : 農業機械購入に際し、農外就業による収入を投資した割合を示すパラメータ, D_k : 機械 k の耐用年数 (年), M_{kt} : 機械 k を稼働させた経営耕地数 (grid数), f_l : 集落標準小作料 (円, ただし借地経営の場合のみ計上) である注 9)。また負担すべき労働時間 $T_{(X,Y)}$ (時間/10a) は、

$$T_{(X,Y)} = \left(T_c + \sum_{k=1}^3 T_{mk} \times S_k \right) \times W_{(X,Y)} \times \delta^{d_{(X,Y)}} \quad (4)$$

と定式化する。ここで、 T_c : 管理作業など大型機械作業以外の作業時間の単位量 (時間/10a)注 10), T_{mk} : 機械種類 k の作業時間の単位量 (時間/10a), S_k : 面積集積による機械種類 k の作業時間の効率化を示すパラメータ, $W_{(X,Y)}$: 土地 (X, Y) の相対作業条件を表すパラメータ, δ : 通作距離による作業時間の重み付けを示すパラメータ, $d_{(X,Y)}$: 通作距離 (経営者宅地から当該耕地までのモデル空間上での直線距離: 隣接 grid を距離 1 とする) とする。これは、規模の経済性が発揮されやすい機械作業の単位量と比較的面積に比例して増加する機械作業以外の時間的コストに、土地条件と通作距離によって重み付けをしたものである。なお、通作距離が遠い圃場ほど耕作放棄される可能性が高いことは、佐藤⁷⁾によって明らかにされているが、これまでのモデルでは農地の空間的配置は考慮されてこなかった。この定義式はこの知見を導入したものである。

作業受委託耕地 以下に示すように、作業委託

耕地の経営収支 (5 式) 及び必要労働時間 (6 式), また, 作業受託耕地の経営収支 (7 式) 及び必要労働時間 (8 式) を定義する。なお, f_{wk} , T_{mk} 共に作業 k を委託・受託する場合のみ考慮し, それ以外は 0 とする。

$$I_{t(x,y)} = Y_t \times F_{(x,y)} \times Pr_t - Cv - \sum_{k=1}^3 f_{wk} \quad (5)$$

$$T_{t(x,y)} = \left(T_c + \sum_{k=1}^3 T_{mk} \times S_k \right) \times W_{(x,y)} \times \delta^{(d(x,y)-1)} \quad (6)$$

$$I_{t(x,y)} = \sum_{k=1}^3 f_{wk} \quad (7)$$

$$T_{t(x,y)} = \sum_{k=1}^3 T_{mk} \times S_k \times W_{(x,y)} \times \delta^{(d(x,y)-1)} \quad (8)$$

ここで, f_{wk} : 機械作業 k の作業委託料金 (円/10a) である。

(iii) 次年度の面積調整

農家は自らの労働力の増減 (物理的制約条件) と予想される所得水準 (経済的制約条件) を参照し, これらの制約条件に基づいて次年度の経営面積の増減を決定する。

まず, 農家が 1 年間に必要な労働時間は, 自身が作業に関与する農地の T_t を合計したものと見なすことが出来る (以下, ΣT_t)。ここで, $L_{t(N)} < \Sigma T_t$ となる場合, 超過分の労働投下を削減させる必要がある。この時の削減耕地の序列は労働生産性 ($J_{t(x,y)} / T_{t(x,y)}$) の低い順とする。

また, 労働力が満足している状態であっても, ほ場単位で見込まれる所得が許容水準を下回る場合, 同様に労働生産性の低い順に休耕する^{注11)}。

休耕された農地は自動的に農地市場に移行し, 他農家との取引対象農地となる。この際, 農地の貸し手は基本的に農作業委託を愛好する。所有者毎に決められる保全管理年数以内に受託希望者が現れない場合に, 貸付希望に変更される。なお, 例外として機械 k を保有している場合, 他者に作業 k を委託することはないと仮定する。つまり, 自己完結耕地などが休耕される場合, 委託希望ではなく, 貸付希望となる。^{注12)}

(iv) 借地と作業受託

農作業受託, あるいは借地による経営拡大志向のある農家は, 農地市場から余剰労働力の範囲内において最も収益性の高い耕地より順に取得す

る。この際, 意思決定の順序は(1)営農組合, (2)残りの 99 戸の農家が 1 人ずつ, である^{注13)}。農地貸借契約は 10 年間の利用権設定とし, 期間満了時には自動的に貸し手に返され, 再度農地市場に放出される。

なお, 原則的には農作業委託は毎年委託者の申し出により契約更新確認が行われるが, 集落内の特定の間人間関係に基づいて作業の受委託が行われ, 実体は双方に継続が困難な事情が生じない限りは契約が更新される場合が多いため, (iii) で示す面積調整以外は自動更新とする。

(3) データの経年変化処理

中長期的に一定方向の変化が予測されるパラメータ (本モデルでは米価の下落, 農業技術・機械性能の向上による反収の逡増と単位面積あたりの労働時間の逡減を想定) は, 過去の推移を参照し, 予測される程度の割合で推移するように設定する。

また新規労働力については, 各農家ともリタイア者が出る度に確率的に 60 才以下の家族員を発生させ^{注14)}, 属性を規定するパラメータをランダムに割り振る。

V シミュレーションの結果と考察

1 シミュレーション分析の枠組み

本論では, ASMAP によって, まず過去の状況を初期データとしてモデルに与えて現在を予測し, モデルの予測値と現在の値を比較することで, モデルの妥当性を検証する。また, 現在からスタートして 30 年後の姿を単純に予測してみる。これは, 組織化を働きかけず, 現在の個別経営が継続する場合の将来予測 (Case1) に相当する。この単純予測 (Case1) の結果と集落内の労働力を営農組合に集中させ, 機械の共同利用による農業経営の組織化を仮定した場合の将来予測 (Case2) の結果を比較し, 組織化の意義を考察する。双方のモデルの構造的な相違点は, Case 1 がアンケート調査結果を反映させているのに対して, Case2 では, ほぼ全農家が個別経営での機械更新を行わない。そして, 農業者は営農組合に労働力を拠出するか否かだけを決定するように

表 6 基本構成のパラメータ設定 ※¹
Table6 Basic setting of the model parameters

パラメータ	設定値	変動域
機械作業外労働時間 (T_c)	20 (h)	±5%
機械作業 1 作業料金 (s_1)	8,000 (円/10a)	±20%
機械作業 2 作業料金 (s_2)	13,000(円/10a)	±20%
機械作業 3 作業料金 (s_3)	13,000(円/10a)	±20%
標準小作料 (f_l)	15,000(円/10a)	±20%
単位収量 (T_c) ※ ³	530 (kg/10a)	0
単位米価 (T_c) ※ ³	230 (円/kg)	※ ²
作業時間の距離重み	1.05	0
農作業条件 ($W_{(X,Y)}$)	約 1	0
土地条件 ($F_{(X,Y)}$)	約 1	0
休耕地保全管理年数※ ⁴	5 (年)	±50%
米価下落率前年比	0.975 (%)	0
機械購入農外資金投入率※ ⁵	50 (%)	0
集積による作業時間通減率※ ⁶	0.96 (%)	0

- ※¹ 参考資料として、農林水産省農業経営統計調査、および当該地区のヒアリング結果を採用。変動域が網掛けのパラメータは毎年変動。それ以外は初年度に決定し、以降変化なしとする。
- ※² 詳細情報が不足しているため、現段階では微量な変動でランダムに設定し、影響を最小限にする。
- ※³ 単位収量は+5%/年、単位米価は-0.975%/年とした。
- ※⁴ 借り手不在の借り手希望地が荒廃するまでの年数。
- ※⁵ アンケート調査の結果から、個別農家の意識レベルで減価償却費を厳密に評価していない場合が見受けられた。この回答のばらつきを是正するため、当該地区がほぼ全農家が兼業であることを踏まえ、「農業機械購入に際し、およそ半分を農外収入から拠出する」と仮定した。営農組合は、機械購入費用の補助金依存率の意味合いで、便宜的に同じく α を適用した。
- ※⁶ 若干の効率化を表現するため、各gridに対して、0.96^a (a:隣接する機械業者が同じ経営耕地 grid 数) で仮定した。

設定されている。つまり、この比較分析は、組織的な集落営農による効果をシミュレーションにより検討しようとするものである。両ケースで共通するパラメータ値を表 6 に示した。

本モデルはエージェントの意思決定順序や、確率的なパラメータ決定の影響により、結果も試行毎に若干のばらつきがある。そのため、10 年後 (1990 年～2000 年) の営農組合の借受面積を指標にした予備的検討の結果、表 7 に示すように、概ね 10 回の試行でモデルの表現しうる水準の予測結果に至ることが確認されたため、10 回試行の平均値をモデルの結果とした。

2 モデルの検証

初期状況を 1990 年時点に設定し、そこからの現況 (2003 年) の推定値を基にモデル構造の妥当性を検証する。このシミュレーションでは、入手出来た資料 (集落総計値) のみを用いてモデルを設

表 7 試行回数決定の予備的検討結果 (組合借地)
Table7 Preliminary inspection for decision of the number of trial runs

試行回数 (回)	5	10	20	50	100
10 年後の予測値の平均 (grid 数)	120.2	121.3	120.5	118.68	119.87
分散	117.4	97.2	81.5	91.9	86.9
標準偏差	10.8	9.9	9.0	9.6	9.3

表 8 検証のためのパラメータ設定※
Table8 Setting of the parameters for verifying the ASMAP

項目 (台数)	1990 年 ①	2000 年 ②	初期保有確率 ③=①/100 戸	更新率 ②/③
トラクタ	78	49	78%	63%
田植機	44	19	44%	33%
コンバイン	30	20	30%	66%

- ※ 2000 年世界農業センサス農業集落カードから当該地区データを抽出。営農組合は常時 3 種類とも機械を保有しているとする。

計した。それに伴い、シミュレーション開始時の状態を決定するいくらかのパラメータを機械的に決定した。以下に主な項目の初期設定 (1990 年) の処理方法を示す。

1990 年度と 2003 年度の両方のデータが存在する機械保有台数に関しては、表 8 に示すように全農家に対して初期保有確率 (例えばトラクタなら、1990 年に 78 台…78%) 及び更新確率 (1990 年→2003 年で 78 台→49 台…更新確率 63%) を設定し、集落総計で 2003 年時点の機械台数の期待値と現実の台数と一致するように変化させた。

米価、単位収量、及び各作業工程の必要労働時間基本単位に関しては機械の保有設定と同様に、農林水産省農業経営統計調査「米生産費」から、直接あるいは同等の面積あたりの数値と概ね数値が一致するように、収量や作業時間を抽出し、初期値とその変動率を設定した。

労働力構成は、前述の理由より個別農家毎に再現することが困難なため、検証期間の 13 年に合わせて 2003 年の農業従事者の年齢を一律に 13 歳下げ、かつ統計資料による農業従事者数の比率 (1990 年 : 2000 年 = 254 : 223) に見合うよう、各個人の保有労働時間にプラス 10% の補正をした。経営面積及び配置、経営拡大意思、標準小作料及び各作業料金は、資料の関係上、やむなく 2003 年の調査結果とは変化がないものとした。入手可能

表9 ASMAPによる2003年の推定値と誤差*
Table9 Comparisons between the estimated values by the ASMAP and observed values (for 2003)

比較項目	現況	推定値	誤差(a・戸)	
			実数比較	全面積・戸数比
借入面積(a)	487	460	-27a	-1%
耕起受託面積(a)	1061	950	-111a	-4%
田植受託面積(a)	1395	1180	-215a	-8%
刈取り受託面積(a)	1250	890	-360a	-14%
放棄地面積(a)	14	10	-4a	-0.1%
経営面積1~50a農家数	70	51	-19戸	-19%
同51~100a農家数	4	6	2戸	50%
同101~150a農家数	1	1	0戸	0%
同151a~農家数	1	1	0戸	0%

* 各耕地面積は集落総計。また、2003年の調査でのデータ欠損部は2000年農林業センサスの数値を代替した(表中網掛け項目)。

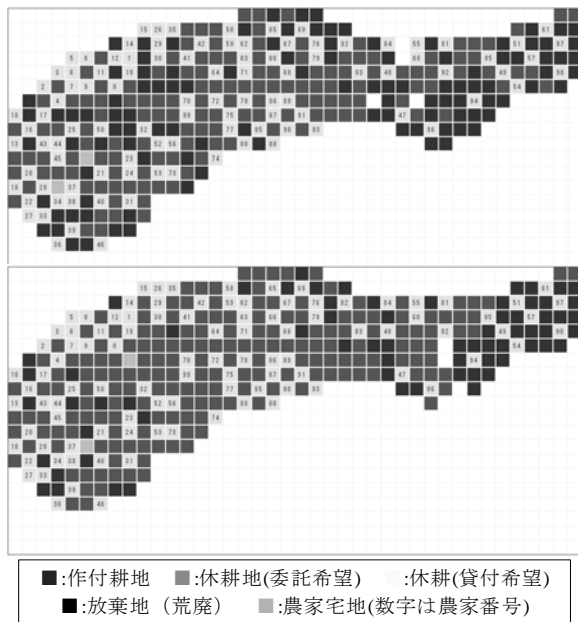


図5 米価下落率を変化させた場合の農地保全30年予測(上:前年比0.97,下:前年比0.995)

Fig.5 Comparison of the cases at different decrease rates of rice price (%) (over;0.97,under;0.995)

な統計データやアンケート結果を最大限に活用して1990年当時の初期データを設定したが、その一部は推定値を使わざるを得なかった。この点での不完全さは残るが、①完全に過去のデータを取得できたものに関しては、厳密に採用している点、②検証の開始年度が圃場整備事業後であるため、農地の配置、面積などが現在とほぼ変わらないと推察される点で、モデルの妥当性の推察には有効であると考えている。

以上の条件において検証を試みた結果、表9に

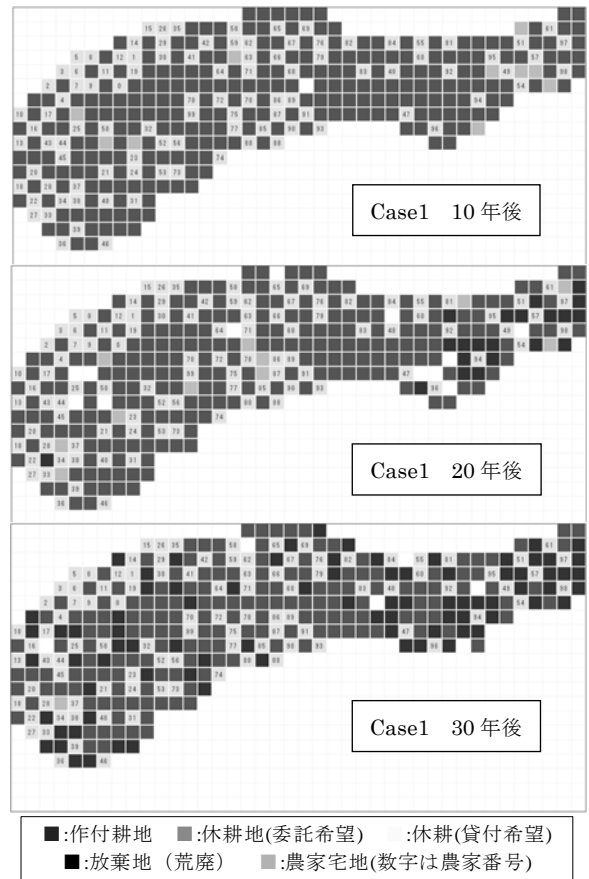


図6 農地保全のシミュレーション結果(単純将来予測の場合)

Fig.6 Simulation results of farmland use (Case 1: simple prediction)

示す誤差が確認された。これによれば、受託面積は全体的に過小推定、借地面積は精度の良い推定値であることが分かる。しかしながら、刈り取り以外の作業受託面積に関しては、いずれも集落農地面積全体に占める誤差の割合は微少であり、実質的に弊害が出る程度のものではない^{注15)}。

また、2003年を初期状態として、同条件で米価の下落率のみを変化させて将来予測を行った結果を図5に示す。図5から、両ケースの放棄地数に明らかな差が生じていることが分かる。同様に、労働力や作業料金などについても検証を行い、経験的に考えられる結果と矛盾がないかを逐一判定した結果、全ての場合において悪条件の場合に放棄地が増加するという共通の傾向を確認した(図は割愛)^{注16)}。

以上から、限定的な情報による初期設定であるにもかかわらず、概ね良好な予測精度であると考

えられる。

3 単純将来予測の結果

ASMAP による Y 集落の将来予測結果を図 6 に示す。現在より 20 年後以降に急激に休耕や農地の

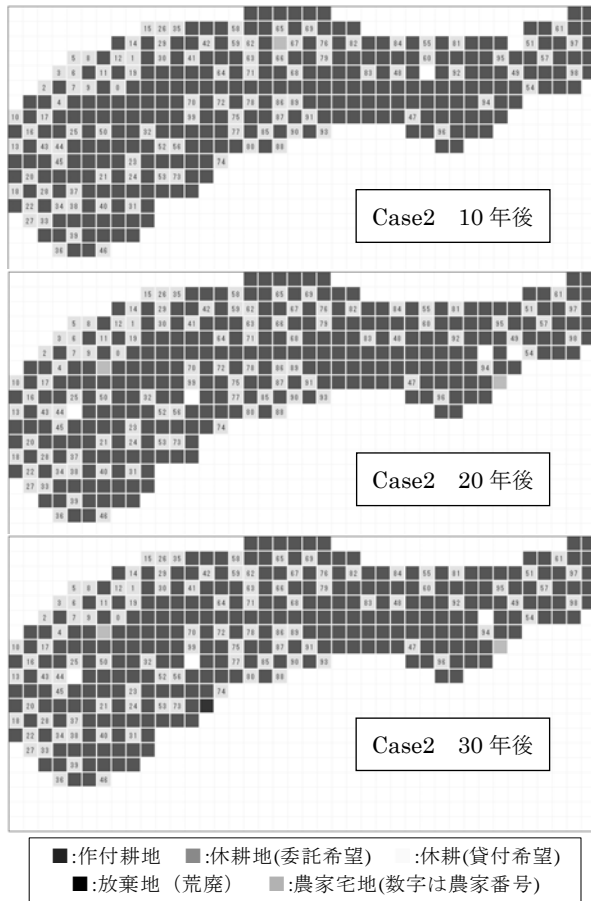


図 7 農地保全のシミュレーション結果 (集落営農を組織化した場合)

Fig.7 Simulation results of farmland use (Case 2: organizing community farming)

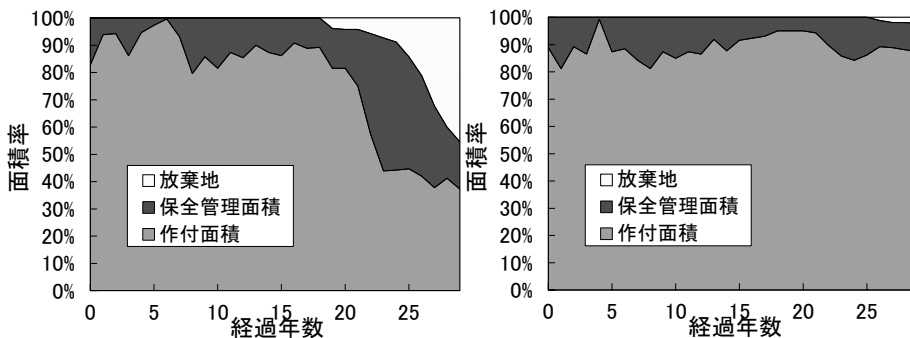


図 8 耕地の状態別面積率の推移 (左:Case1,右:Case2) ※

Fig.8 Transition of planted, fallowed and abandoned land area (%) (Left; Case 1, Right; Case 2)

※初年度の結果が若干異なるのは、モデルの構造上シミュレーション開始年度の翌年を一年目とカウントしているためである。以下同様。

荒廃が顕在化する状況が読み取れる。この結果は視覚的に明確な印象を与えることから、集落営農計画の有効な判断資料となり、参加農家に対して危機感の啓発効果が期待される。また、集落営農計画づくりの過程で各種パラメータの修正を対話型で行うならば、様々な仮想状況下での当該地区の将来予測情報を話し合いの現場へ提示することができる。

4 営農組合組織化の効果

集落営農を組織した場合の農地保全状況の予測結果を図 7 に示す。労働力・機械の集積により、経営の効率化が図られた結果、30 年後においてもほぼ放棄地が発生していない。耕地の状態別面積率の推移 (図 8) を比較しても、個別経営のみと仮定した場合 (Case1) とは明らかな差が見られた。また図 9 より、両ケース間には農地流動化の程度にも大きく差が生じていたことが見て取れる。Case1 では、香川⁸⁾が経済的試算に基づいて指摘するように、米価の下落が進展する中で農地貸借を通じた経営規模拡大化は停滞していく傾向が見て取れる。また結果の比較から、貸し手農家層から営農組合を中心とした担い手へ積極的に休耕地を集積させて農地流動化を徹底することで、現行の労働力や機械整備の水準でも農地保全に十分対応できることが分かった。このことは、計画づくりを通じて重点的な担い手育成 (ソフト面) の体制を整備することが農地保全に対して効果的であることを示唆している。

営農組合への農地集積推移 (図 10) から、組織的な営農計画を実施することにより、農地保全促進効果だけではなく、営農組合を中心とした農地集積による階層分化が進行することが確認された。なお両ケースに共通して見られる営農組合の農地借受面積の落ち込みは、各農家の労働力が一時的に落ち込むことによるものと考えられる。

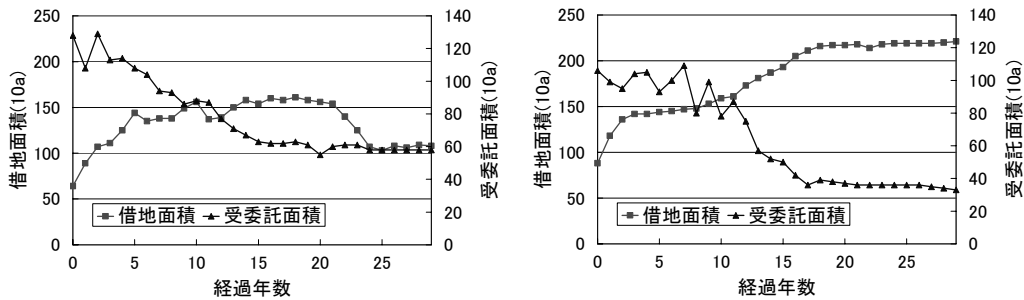


図9 農地流動化面積と受委託面積の推移 (左:Case1,右:Case2)

Fig.9 Transition in area of farmland lease and land for contract operations of farming (Left;Case1,Right;Case2)

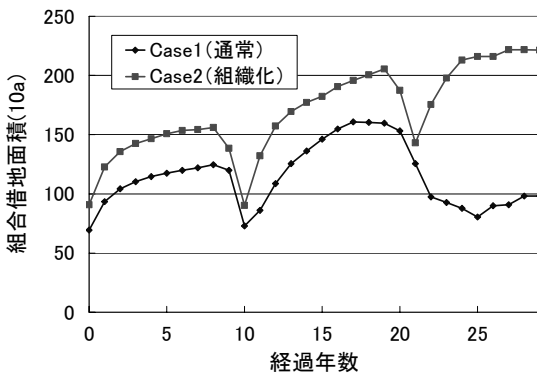


図10 営農組合の農地借受面積推移

Fig.10 Transition in area of the leased farmland by the farming organization

VI おわりに

前報の CALL モデルでは農地貸借のみを扱っていたことに対し、本論で構築した ASMAP では新たに農作業受委託を定式化し、導入した。本モデルはより現実に即した集落営農計画モデルとして位置づけられる。本モデルにより、これまで困難であった特定の状況設定下における農作業受委託あるいは農地貸借の予測ならびに農業構造変化の予測が可能となった。兵庫県神崎町の Y 集落に適用したところ、そのシミュレーション結果から、現在同集落が企図する水稻作の全面的な組織化が、米政策改革の方針に対応する動きであるだけでなく、農地保全の観点からも効果的であることが定量的に示された。

最後に ASMAP の普及に向けていくつかの課題を整理する。1 点目は、普及員、役場職員、農協営農指導担当者等の実務担当者が簡易に操作でき

るように ASMAP の操作性を改良すべきことである。本モデルは、圃場の空間的な情報と個別農家意向の情報である。実務担当者が本モデルを平易に使いこなすためには、モデルのインターフェイスを改善するとともに、必要十分な情報を収集するための標準調査シートを作成し、初期データの準備作業を手順化する必要がある。

2 点目は、より厳密な妥当性の検証である。本研究では 1 集落のみで検証を行ったが、適用事例を増やして汎用性を更に高める必要がある。

最後に、モデル・シミュレーションを前提とした計画システムを構築することである。本モデルのポテンシャルを最大限に活かすような計画づくり（担い手ビジョンづくり）のシステム開発が求められる。

本研究の遂行にあたり、文部科学省科学研究費補助金（基盤研究(C)(2)）階層的統計モデルを用いた土地利用政策モデルの開発（課題番号：13660243，研究代表者：星野 敏）を使用したことを付記する。

謝辞：神戸大学農学部講師、伊庭治彦氏には研究対象地域を紹介して頂き、更にアンケート調査や結果の分析に際して多大なご支援を頂いた。そして、アンケート調査にご協力頂いた神崎町役場、福崎農業改良普及センター関係各位、ならびに Y 集落農家の皆様に併せて御礼申し上げます。また、(株)構造計画研究所創造工学部から本モデルの開発ツール (KKMAS) の無償提供を受けた。プログラミングに関し、同研究所の織田瑞夫氏からは直接数多くのご助言頂いた。関係各位に紙面を借りて感謝の意を申し上げます。

注

注1) 例えば、能美 誠(1998)：小地域・組織における計量的地域農業計画手法の課題，農村計画学会誌，Vol16，No.4(3)，pp18-29. あるいは能美 誠(1998)：地域農業計画の意義と手法の課題，農村計画学会誌，Vol17，No.2(9)，pp7-18. などが挙げられる。

注2) 近傍者の配置・属性によって自らの満足度を決定する多数の主体の意思決定によって，社会全体の分居現象を表現したモデルであり，山影ら²⁾がこのモデルの簡易な説明を行っている。

注3) ヒアリング(2003年度…100戸)・センサス(2000年度…95戸)・地区が管理する経営資料(2003年度…100戸)で把握する農家数が異なっていた。また，回答が得られなかった農家は，モデルの現状再現性を考慮し，家族人数・年齢・性別・従事の程度，機械の保有状況等を，集落全体での比率にしたがって再現した。経営面積はアンケートの回答面積の総計と資料に記載された面積の差を同等に配分した。

注4) 後述するが，本調査段階ではモデル構築用に作成した専門のシートではなく，一般的な経営調査の中から適宜データを抽出した。

注5) ごく短期間(10年程度)の予測ならば，あえてモデル化する必要はなく，各農家から直接収集したデータの積み上げによる方法が最も精度がよい結果を出すと推察される。一方で，長期(50年程度)の予測では，一定のパラメータ設定では，状況変動に対応しきれないだけでなく，計画に参加する大多数の人間が農業をリタイアしているため，予測結果を地域に還元するというモデル構築の目的を考慮すると適切ではないと言える。そこで，双方の折衷案として30年と定めた。

注6) モデルの構造を簡略化するため，本モデルでは，全ての作業を委託する場合には農地貸付として取り扱うものとする。

注7) 農業機械作業の多くが男性によって行われているのが現状である。したがって，本モデルのように労働力を扱う場合，労働時間を男女別に扱わなくてはならない。男女比の設定は今後議論の余地はあるが，差し当たり農林統計調査による平均的な作業時間に占める管理労働時間の割合で代替した。

注8) シミュレーション開始時に，80歳前後(±5歳

の幅で一様乱数による誤差)で決定される。農業リタイア年齢の設定には，アンケート調査による年齢階層別農業者数が80歳前後で大幅に減少するという事実に基づいた。なお，以降ASMAPで用いる乱数は全て一様乱数である。

注9) 本研究では，法定耐用年数ではなく，調査結果から決定する実質的なおおよその利用予定年数の意味で耐用年数を定義する。したがって，固定資産の残存価格は考慮しない。また，現在の農業機械の価格水準と農業収入の水準を考慮した結果，小規模の農家は減価償却費を農業所得のみで賄うのではなく，一部農外所得による資産を投資しているとの推測により，定義式のように α を導入した。

注10) 育苗など，圃場までの距離・作業条件があまり作業時間に影響しない項目もあるが，パラメータの増加を抑えるため，現段階では機械作業以外の作業工程を細分化していない。

注11) 具体的な金額で閾値を設定することは困難であるが，ここでは赤字でも農業を続けると回答した農家は0～-3000(円/10a)，赤字なら農業を止めると回答した農家は0～1500(円/10a)の範囲において一様乱数を用いて確率的に線引きし，休耕判断水準とした。

注12) 農作業委託を経ず，貸付を嗜好する場合も考えられるが，意向調査では約65%が「機械作業を委託して自家で経営」を回答したことから，現段階では簡略化してこの仮定を設けた。

また，自己完結耕地を休耕する場合に貸付のみを希望するのは，本論で設けた「自ら機械を保有する場合，その機械が担当する作業工程は委託しない」という仮定に基づく。

注13) 現実的に経営拡大志向農家は，集落内の全ての委託・貸付希望農地を把握し，その中で最も有利な対象地を合理的に選択している訳ではなく，様々な制約による限定された範囲から選択していると推察される。これを受けて，ASMAPでは1回の試行(30年予測)毎に個別農家の意思決定順序をランダムになるように設定した。経営拡大志向農家は，当年度の意思決定を行うまでに他農家から出された範囲内で受託・借地対象農地を選択するため，ランダムな意思決定順序を設定することで限定的な状況を反映させている。

注14) 確率の設定には課題を残すものの，家族農業者がリタイアした時に，経営維持のために定年を待たず帰農する他出の家族員の可能性を示している。

今回は当該地区の詳細な人口推移のデータが得られなかったため、20分の1で代表させている。

- 注15) 個別農家同士の受委託が僅かである刈り取り作業については、個人の受託農家が機械更新期に更新しないと判断することにより、それまで彼(彼女)に委託していた農地が貸付希望農地に転じる。中心的な受け手である営農組合が当年度の最初に(他農家に先だって)意思決定を行うというASM_{AP}の構造では、新たに発生した貸付希望農地をその年度内に請け負う事が出来ず、見かけ上刈り取り受託面積が他の作業に比べて少なくなる。これはプログラム構造に起因する問題である。
- 注16) 正の効果を農地保全、負の効果を農地荒廃とすると、具体的には農地集積に関する労働力遞減効果が増加すると大幅な正の効果、労働力の絶対量の増加は正の効果、逆に各種費用の増加は大幅な負の効果が確認された。

参考文献, 引用文献

- 1) 遠藤和子 (2004) : 棚田を対象とする農地利用予測シミュレーション, 農村計画学会誌, 23(1), 29-40.
- 2) 山影 進・服部 正太 (2002) : 『コンピュータの中の

人工社会—マルチエージェントシミュレーションモデルと複雑系—』, 共立出版株式会社, pp. 108-123.

- 3) Alexis Drogoul, Diane Vanbergue, and Thomas Meurisse. (2002) : Multi-agent Based Simulation : Where Are the Agents?, Multi-Agent Based Simulation II, Third International Workshop, MABS2002 Revised Papers, pp.1-15.
- 4) 橋本 禪, 佐藤洋平 (2001) : 土地利用計画過程における意思決定の空間分布変化—人工社会における合理的な複数主体による計画の過程—, 農村計画論文集第3集, 187-192.
- 5) Balmann, A. (2001) : Modeling Land Use with Multi-Agent Systems. Perspectives for the Analysis of Agricultural Policies, IIFET Conference "Microbehavior and Macroresults", Proceedings.
- 6) 山下良平, 星野 敏 (2003) : 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5集, 85-90.
- 7) 佐藤洋平 (1988) : 分散土地所有と土地利用転換, 農業土木学会論文集, 137, 57-63.
- 8) 香川 文庸 (2003) : 『農作業料金の経済分析』, 農村統計協会, pp50-81.

The conditions of the rice-growing farmers in Japan become much severer in recent years, so that it is difficult for most small- and medium-sized farmers to continue farming and to properly maintain their farmland in most areas. Establishment of a collective farming system at community level is one of the most hopeful measures to improve their labor productivity and cost saving. Future perspective of the community agriculture is important information to accelerate the establishment of collective farming association.

Applying the Multi-Agent Systems (MAS), we have developed a new simulation model named "Agent-based Simulation Model for Agricultural Planning (ASM_{AP})" that can properly deal with both farmland lease and contract operations of farming among the farmers in a community. It is a completely-revised version of our previous model (CALL model) that can deal with farmland lease only. The ASM_{AP} can predict future agricultural structure of the community and the area of abandoned farmland under the given conditions. We believe this model can bring about a lot of essential information for agricultural planning at community level that the previous model cannot provide.

We applied the ASM_{AP} to the community of one-hundred farm households in Kanzaki Town, Hyogo Prefecture and verified some behaviors of the model outputs. We found the model has enough accuracy by comparing the simulation results with the actual observations.

We also conducted the analysis on the effects of collective farming association and found it is quite effective to decrease the area of abandoned cultivation. At the last, we pointed out some issues for diffusion of the program package of the model.

Key Words : 1) Multi-Agent Systems, 2) Simulation, 3) collective farming system, 4) Agricultural Structure, 5) Contract operation of farming

(2004年6月21日 受付)

(2005年3月28日 受理)