

マルチエージェントモデルによる農地流動化要因の影響評価

－ 兵庫県神崎町 Y 集落を事例として －

Sensitivity Analysis on Factors affecting Liquidization of Farmland by Agent-based Simulation Model

Case study of Y Village in Kanzaki town, Hyogo Prefecture

山下良平*, 星野 敏**, 伊庭治彦**

Ryohei YAMASHITA*, Satoshi HOSHINO**, Haruhiko IBA**

(*神戸大学大学院自然科学研究科 **神戸大学農学部)

(*Graduate School of Science and Technology, Kobe University **Faculty of Agriculture, Kobe University)

I はじめに

米政策改革大綱(2002)を契機として^{注1)}, 各地で今後の米政策の動向を見据えた組織化対応が展開されている。しかしながら, 集落組織の機能が弱体化する中で, 多様な意向を持つ農家の合意形成により, 持続的な生産組織を立ち上げることは容易ではない。そのうえ, 農地集積による農業構造の改善(或いは集積の停滞)には, 様々な内的・外的要因が複雑に関与するため, 組織化の方策やその効果を解析的に捉えることは困難であった。

これらの背景から, 前報^{注2)}では, マルチエージェントシステム(以下, MAS)を適用して, 多数の農家による農地貸借行動や, それに伴う農業構造変化の予測モデル(CALLモデル)を開発した。MASとは, 現実の錯綜した状況を人工社会に再現し, シミュレーションによって問題構造や因果関係を同定する, 多主体複雑系を対象としたモデリング手法である¹⁾²⁾。更に, 実用化に向けて集落営農の検討事例に適用して, より現実的な構造に改良した発展モデル(Agent-based Simulation Model for Agricultural Planning: 以下 ASMAP と略称)を構築し, その有効性を確認した³⁾。

本研究では, ASMAP を用いたパラメータの感度分析によって, 農地流動化に寄与する要因の影響評価を行う。そして, 集積を阻害する要因や, 階層分化が促進され, 農地保全が達成される条件を明らかにし, 持続的な地域農業の展開に向けた課題と指針を示唆することを目的とする。

II ASMAP の構造

1. モデルの概要

ASMAP では, 対象地域を模式したシミュレーション空間において, 実在の営農主体の経営行動を再現するエージェントが, 各々の行動様式に従って振る舞う状況を基本構造とする。

実際のモデル適用では, まず事前のヒアリングやアンケート調査, 或いは既成の統計資料等によって, 対象地域の情報(集落形状, 耕地面積, 農家数等)や営農主体の行動様式を精査する。そして, 調査結果を基に作成したデータを入力し, 最終的なモデルの枠組みを決定する。(図1参照)

2. 営農主体の組成

ASMAP で考慮する営農主体は, 「複数の世帯員で構成される個別農家」と「対象地域内の農業者のみから構成される営農組合」である^{注3)}。以下,

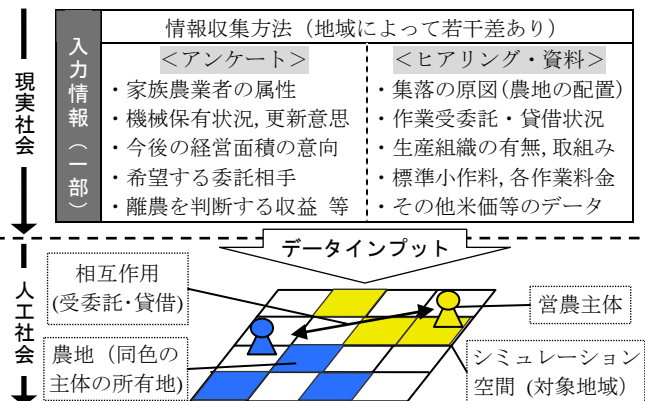


図1 ASMAPの概念図

モデルの構造説明では、集落農家数 N ($1 \cdots n \cdots N$)、個別農家の世帯員数 H ($1 \cdots h \cdots H$) とする。

ここでは、農家番号(n)の家族農業者(h)が t 年目に保有する労働時間($T_{t(n,h)}$)は、年間農業従事日数($D_{t(n,h)}$)、1日平均従事時間($L_{t(n,h)}$)、及び営農組合作業オペレータ勤務の意向によって凡そ規定されると仮定し、当期の農家の労働力($T_{t(n)}$)を、家族農業者の総和として考える。つまり、 $T_{t(n)}$ を(1)式のように定義する。

$$\sum_{h=1}^H T_{t(n,h)} = \sum_{h=1}^H \{D_{t(n,h)} \times L_{t(n,h)} \times (1 - F_{(X_1, X_2)})\} \quad (1)$$

$D_{t(n,h)}$ はアンケート結果から決定するが、 $L_{t(n,h)}$ に関しては、本モデルが転作面積を捨象しているため、畑作相当分の労働時間の割合を考慮して、基本単位(8時間)に対して、やや少なく評価する^{注4)}。 $F_{(X_1, X_2)}$ は、農業者(h)の年齢及び専業/兼業の区別をダミー変数として、営農組合へ労働力を抛出する程度を決定する関数である。

3. 営農主体の意思決定機構

営農主体の意思決定機構を図2に示す。なお、営農組合も独立したエージェントとして扱い、基本的な意思決定機構は個別の農家と同じであるとする^{注6)}。各々の営農主体は、初期の機械整備状況や労働力が異なり、分岐点における判断や閾値の差によって明確に特徴づけられている。

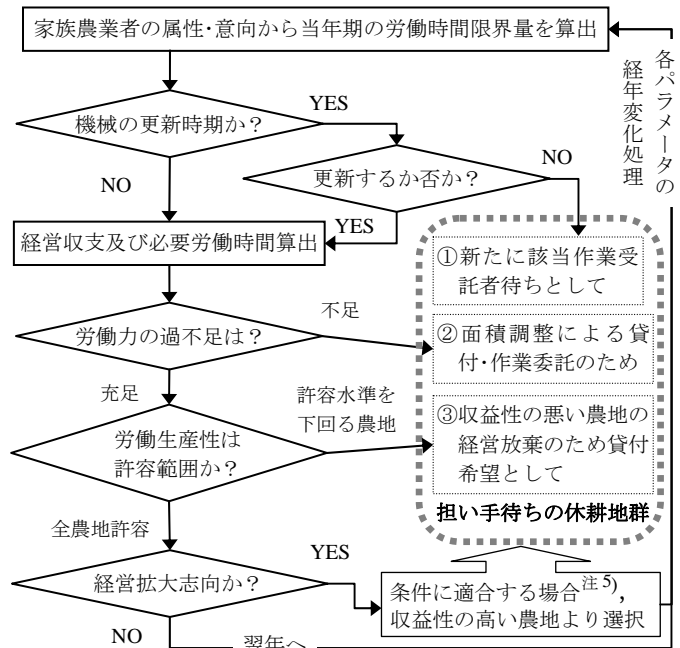


図2 営農主体の意思決定機構

表1 ASMAPにおける労働力抛出割合の関数形

関数形*	$F_{(X_1, X_2)} = \alpha \times f^1(X_1) \times f^2(X_2)$
変数	設定内容
α	オペレータを希望しない...0, それ以外...1
$f^1(X_1: \text{年齢})$	$f^1 = -0.00063(X_1 - 60)^2 + 1$ (60歳でピークの上凸)
$f^2(X_2: \text{専業})$	専業...0.8, 兼業...0.4(機会費用を考慮した暫定値)

* f^1 は、加齢による作業技術の習熟と労働生産性の低下を考慮した関数であり、 f^2 は、兼業農業者の労働に対する動機を考慮した関数である。现阶段では、いずれも仮説に基づく構造である。

表2 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*1

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)*2
				$Yr \times Pr - Cv - \sum_{k=1}^3 \{(Pm_k \times \alpha) / (D_k \times W_{kr})\}$	$Tc + \sum_{k=1}^3 Tm_k \times R_{(X, Y)} \times (\delta \times d_{(X, Y)} + 1)$
自分	自分	自分	自己	$Yr \times Pr - Cv - \sum_{k=1}^3 \{(Pm_k \times \alpha) / (D_k \times W_{kr})\}$	$(Tc + \sum_{k=1}^3 Tm_k \times R_{(X, Y)}) \times (\delta \times d_{(X, Y)} + 1)$
		他者	委託	$Yr \times Pr - Cv - \sum_{k=1}^3 fe2_k - \sum_{k=1}^3 \{(Pm_k \times \alpha) / (D_k \times W_{kr})\}$	$(Tc + \sum_{k=1}^3 Tm_k \times R_{(X, Y)}) \times (\delta \times d_{(X, Y)} + 1)$
他者	他者	自分	借入	$Yr \times Pr - Cv - fe1 - \sum_{k=1}^3 \{(Pm_k \times \alpha) / (D_k \times W_{kr})\}$	$(Tc + \sum_{k=1}^3 Tm_k \times R_{(X, Y)}) \times (\delta \times d_{(X, Y)} + 1)$
		他者	受託	$\sum_{k=1}^3 fe2_k$	$\sum_{k=1}^3 (Tm_k \times R_{(X, Y)}) \times (\delta \times d_{(X, Y)} + 1)$

- ・ 下付き添え字 $k=1 \sim 3$ 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 Tm_k を考慮し、それ以外の場合 $Tm_k = 0$ とする。同様に作業料金も委託(受託)した場合のみ考慮し、それ以外は 0 である。また、委託地に係る固定費負担分は、自家で機械作業を行った場合のみ考慮する。
- ・ 機械の償却費に関して、更新する予定のない農家は $\alpha = 0$ 、更新する予定の農家は $\alpha = 1$ 、未定の農家は $\alpha = 0.5$ と仮定した。
- ・ 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。
- ・ 農地を全て 1区画 10a として扱っているため、各パラメータは 10a あたりの単位量として設定している。

*1 貸付地に関しては、収支は小作料のみ、作業時間は 0 であるため、割愛した。

*2 集積による省力化の効果 (R) は、既往研究を参考に設定した⁴⁾⁵⁾。

まず、農家は期首に機械更新判断を行う。保有する機械が更新時期を迎えた場合、更新の予定がないならば、それまで自己が担当していた作業工程を他者に依頼するため、受託者が現れるまでは、休耕地として保全管理を行う^{注7)}。

次に、当期の農地単位の収益及び費やした労働時間を表2の定義式によって算出する（前掲表2参照）。そして、当期の保有労働時間や限界と感じる所得の水準^{注8)}に対して、ここで算出した労働時間と農地毎の収益性がその範囲を超過する場合は、収益性の悪い農地より順に休耕にする。

最後に、営農組合や経営拡大意思のある農家は、他農家の受託希望或いは休耕地の中から、余剰労働時間の範囲内で、収益性等の条件に適合する農地を順に請け負う。これら一連の意思決定機構に基づき、全ての営農主体が逐次的に農業経営を展開していく。

III 対象地域

1. 概要

分析の対象地域は、兵庫県神崎町Y集落である。神崎町は兵庫県のほぼ中央に位置する総面積105.10km²、総農家数約100戸、2003年度水稻作付面積約26ha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。集落の全農家が第2種兼業農家であり、1戸あたりの耕地面積が41aと零細であったことから、昭和55年に営農組合を設立し、主に転作の取り組みを中心に活動を展開してきた。しかし一方で、稲作に対する根強い個人経営意向から、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. モデルへの入力情報

現実を反映させて、農家99戸、営農組合数1、配置をほぼ正確に投影した農地（総面積26ha）によって構成される2次元平面のシミュレーション空間を構築した^{注9)}。そして、表3に一例を示す地元農家へのアンケートの結果や、行政・普及センター等の関係機関へのヒアリング（実施期間：H15.09～H16.03）による情報と、2000年世界農林

業センサス農業集落カード、或いは平成13～14年農業経営統計調査「米生産」による統計情報を総合し、モデルの構造を規定するパラメータや外生変数の標準設定値を表4のように決定した。

IV シミュレーション分析

1. 分析の枠組み

農地流動化に寄与する要因の影響評価方法として、パラメータの感度分析を行う。流動化要因として考慮した項目は、米価下落率、作業料金、標準小作料、機械作業省力化水準（技術革新を想定）、農地貸付相手の選好（仲介組織を想定）である。他方、シミュレーションの結果を比較するための指標（結果指標）として、作付面積、借地面積、

表3 調査項目の一例と回答形式

項目	備考
経営主の属性	年齢(数値), 性別(2択), 専業・兼業別(2択)
後継者・家族農業者の属性	年齢(数値), 性別(2択), 在宅他出別(2択), 専業・兼業別(2択)
農業従事の程度	平均的な年間水稲作従事日数(5択)
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(字別に数値記入)
農業機械保有状況	機械(トラクタ・田植機・コンバイン)の保有状況(2択)と更新の意向(あり・なし・未定)
営農組合の作業オペレータ勤務意向	営農組合に対して、労働力の拠出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	今後期待する所得水準など(複数回答)

表4 主なパラメータ及び外生変数の標準設定値

パラメータ	設定値 ^{※1}	パラメータ	設定値
管理作業時間(T_c)	20(時間)	トラクタ利用年数(D_1)	20(年)
耕起時間(T_{m1})	2(時間)	田植機利用年数(D_2)	15(年)
田植え時間(T_{m2})	5(時間)	コンバイン利用年数(D_3)	15(年)
刈取作業時間(T_{m3})	5(時間)	初年度米価(1俵)	13,800(円)
標準小作料($fe1$)	15,000(円)	米価下落率(前年比)	-2.5(%)
耕起料金($fe2_1$)	4,000(円)	10a当たり収量(Y_r)	530(kg/10a)
田植え料金($fe2_2$)	6,600(円)	平均変動財費用(C_v)	25,000(円)
刈取料金($fe2_3$)	15,000(円)	休耕地管理年数	5(年)
トラクタ価格(P_{m1})	2,500(千円)	農業リタイア年数	80(歳)
田植機価格(P_{m2})	2,500(千円)	許容利益水準 ^{※2}	676(円/時)
コンバイン価格(P_{m3})	3,500(千円)	初期オペレータ数	8(人)

※1 標準小作料, 作業料金, 作業時間は10a当たりの単位量を示す。

※2 平成16年度兵庫県最低賃金を代用。労働生産性の比較対象。

放棄地面積の3指標に注目する^{注10)}。(表5参照)

集落一農場方式を想定した「堅固な組織化」については、理論的には完全な組織化であるが、現実的には時間的、精神的、経済的な合意形成費用や、土地への執着が障害となり、実現させることは容易ではない。この点から、参考結果として位置づける。なお、仲介組織は、貸し手と借り手の間に立って契約を取りまとめる組織であって、個人の選好による貸付相手の限定を緩和する機能をもつと仮定している。

2. 分析方法

各パラメータとも、5段階の階級を設けてシミュレーションを行い、結果指標の変化を比較する。なお、パラメータの操作が結果指標に及ぼす影響を明確にするため、その分析で注視するパラメータ以外は標準設定に固定する。各パラメータの階級設定は表6に示す通りである。

また、シミュレーション期間を20年とし、家族農業者がリタイアした際に、ごく僅かな確率で同居もしくは他出の後継者が代わって農業従事をする場合以外は、世帯員の増減はないとした^{注11)}。

3. 分析結果と考察

まず、ASMAPによるシミュレーションの概要を説明するため、通常の場合と集落一農場方式の将来予測を行った結果を図3に示す。堅固な組織化を実施するために、現況の意向を反映させた通常のケースに対して、オペレータの希望者数、及び希望者が営農組合に労働力を拠出する割合を増加させた。また、受託者或いは借り手待ち状態の農地は保全管理地であり、各農家の保全管理年数を便宜的に5年と仮定する。つまり、不作付のまま5年経過した際に、再耕作不能の放棄地となる。

これらの結果から、①現実的には強制力を伴うが、堅固な組織化のもとで集落営農を実施すれば、集落のほぼ全域に渡り農地保全が維持できる、②このまま将来を迎えれば、かなりの放棄地或いは保全管理が発現する、ことが示された^{注12)}。

これを踏まえて、分析の枠組みで提示した全てのケースに対する予測結果を図4にまとめた。図4の結果から、各分析で通常の将来予測と比較して、農地の保全や農地の流動化が達成されている

表5 感度分析の枠組みを示すマトリクス

分析項目	結果指標		
	作付面積	借地面積	放棄地面積
米価下落率	分析1：米価の下落幅による影響		
機械作業料金	分析2：作業料金の高低による影響		
標準小作料	分析3：標準小作料の高低による影響		
機械作業省力化	分析4：機械作業の省力化による影響		
貸付相手の選好	分析5：貸借仲介組織の介在による影響		
堅固な組織化	参考資料：強制力を伴う組織化の実施		

- ・本分析でのシミュレーション結果は10回試行の平均値を取る。
- ・水稲作付面積の初期値は26ha、放棄地に関しては、既に存在する面積を除いたため、初期段階では0とした。

表6 パラメータの階級設定*

	分析1 米価下落率	分析2 作業料金	分析3 小作料	分析4 省力化	分析5 貸付相手
Case1	-7%/年	-50%	-50%	-40%	限定なし
Case2	-5.5%/年	-25%	-25%	-30%	25%限定
Case3	-4%/年	現況	現況	-20%	50%限定
Case4	現状	+25%	+25%	-10%	75%限定
Case5	0%	+50%	+50%	現況	全員限定

ASMMapでは、農地貸付の相手に対する個々の農家の態度として、①誰にも農地を貸さない、②農家のみ貸す、③組織にのみ貸す、④相手を選ばず貸す、の4類型が所与の性質として考慮されている。分析5でいう「限定」とは、①～③の割合をいう。なお、①～③のいずれに性質を持つかは一様乱数でランダムに決定される。なお、標準状態は50%限定とする。

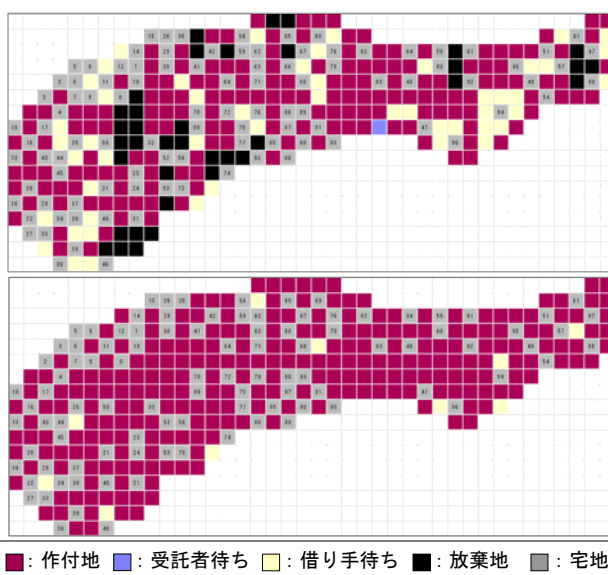


図3 20年後の土地利用予測図(前掲³⁾を参考に*)
上：通常予測，下：堅固な組織化；数字は農家通し番号
*前掲³⁾は30年予測であり、本研究とは予測期間が異なる。

条件が看取された。それらは農業条件の改善に直接つながるような設定を施した場合に、顕著にその傾向が表れた。これらの結果からはいくつかの興味深い示唆を読み取ることが出来る^{注13)}。

【分析1】 各指標共に、パラメータの変化に対して線形的な結果を示した。しかしながら、米価の下落なしの条件 (Case5) と標準設定である -0.975%/年 (Case4) の差が大きく、Case1 から Case4 までの差が比較的小さいことを考えると、この分析で仮定した程度の下落幅であれば、急速に農地荒廃が加速することはないと推察される。

【分析2】 全ての指標が Case4 周辺にピークを持っている。これは、作業料金が高水準になると委託者が拒否し、低水準になると受託者が嫌うという傾向を的確に予測している。最適な値に均衡点を持つと考えれば、この結果から今後の作業料金はやや値上がりすることが予想される。

【分析3】 分析2と同様に、全ての結果が Case4 周辺にピークを持ったが、現在価格より 50%標準小作料が値上がりする (Case5) と、借地経営が限界に達する傾向が顕著に読み取れる。

【分析4】 機械作業の省力化が大幅に進むと (Case5→Case1)、飛躍的に作付面積が増大し、農地の保全が達成されている。但し、現状より 20%程度の省力化 (Case5, 4, 3) では、その効果は微小であると予測された。この水準は、米価の下落や労働力の減少による状況の悪化を、機械作業の省力化によって相殺する限界の水準であると推察される。

【分析5】 Case1 (農地の受け手に対する限定なし) で、農地の流動化が最も進んだだけでなく、放棄地の発生も抑制している。放棄地面積では、全分析・全ケースの中で最も良好な結果が得られた。つまり、放棄地の発生機構は、地域内の労働力不足もさることながら、農地の出し手が相手を限定しているために、健全な流動化が阻害されていることが主な要因の一つであるとの見方が出来る。そして、委託相手の限定を取り除くことが、他のどのような策よりも良好な結果をもたらす得ると予測されている。この結果は、地域資源としての農地の財産的価値を住民が共有し、保全に対する意識を啓発することで、住民同士の連帯感を強化することの重要性を示唆している。

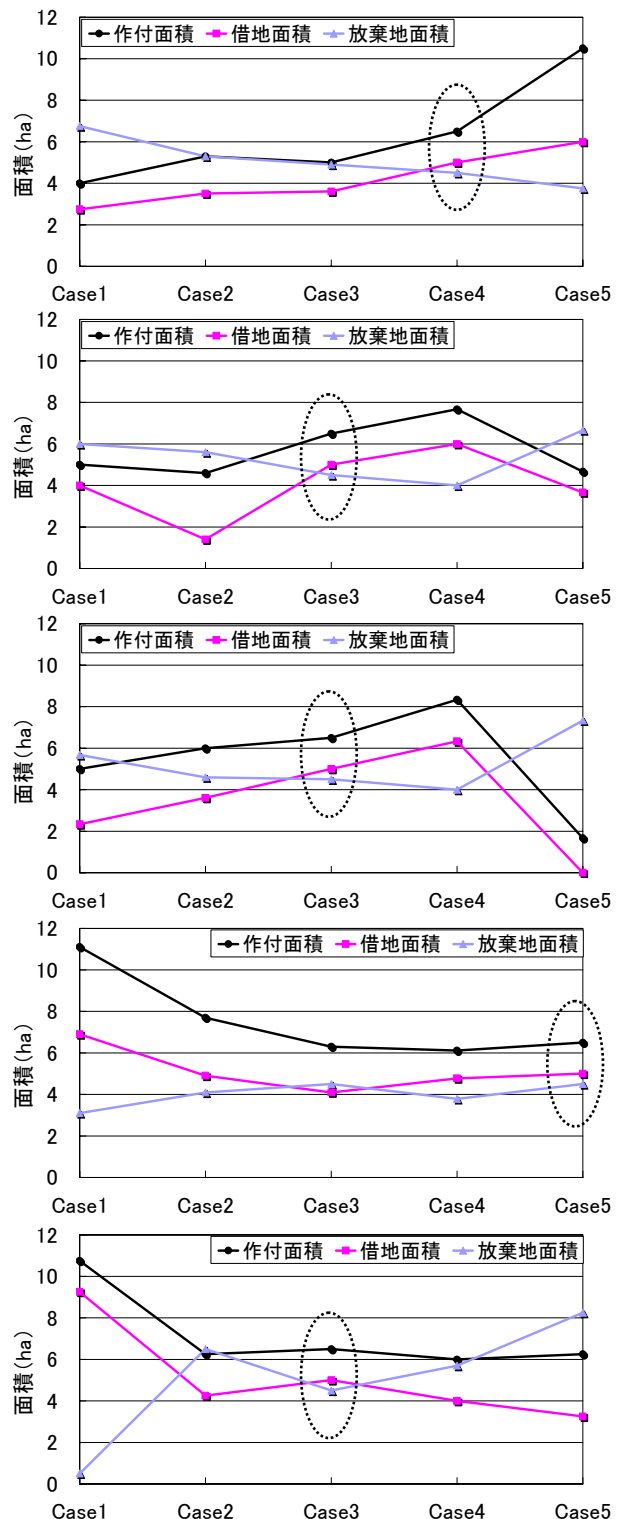


図4 全ケースの面積指標別の予測結果比較

(上から順に分析1～分析5, 囲いは標準設定)

※分析に関与しないパラメータを確率的に決定する部分がやや多いため、一部逆説的な結果が見られるが、概ねパラメータと結果指標と連動が看取される。また、標準設定での予測結果では休耕地が多く、農地の管理が限界状態であることが推察される

V おわりに

本研究では、農地貸借のみを扱った CALL モデルに対して、機械の利用、更新、作業受委託、などの様々な構造を追加し、さらに汎用性のある ASMAP を構築した。そして、Y 集落を事例として、農地流動化に直結する指標に対してパラメータの感度分析を行った結果、多くの示唆が得られた。とりわけ、地域農業の維持に向けて、農地の出し手農家が、過度に相手先を限定することなく、スムーズに農地貸借が行うことができる環境整備が必要であるという結果は、今後の営農計画を進める上で極めて重要な目標であると考えられる。なお、図 4 には併記していないが、参考資料として行った「堅固な集落営農を実施」した場合は、営農組合に限定した農地及び労働力の集積を強制的に仮定したが、20 年後の借地面積が 15ha 以上であった。これは、本分析の何れの結果と比較しても、遥かに流動化が進展している。つまり、組織化の程度を強化することで、さらに農業構造を改善することが可能であると考えられる。

【注釈】

- 注1) 20ha 以上の経営面積を要件として、地域農業の担い手として集落型経営体を明確に位置づけている。
- 注2) 前報は、拙稿(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, pp85-90)を指す。
- 注3) 簡略化のため農業公社等の主体や、出入り作は考慮しない。
- 注4) 年間の従事日数の多い農業者ほど水稲作以外の作業時間が多くなるという状況を反映させた。なお、設定上 $L_{i(n,h)}$ が最も少なくなる場合で、4~5 時間程度になる。また、拙稿「山下良平, 星野敏, 伊庭治彦 (2005): マルチエージェントシステムによる集落営農シミュレーションモデルの開発, 農林業問題研究 41(1), pp60-65」では、簡易な転作の導入を試みているが、いまだ完全な構造ではない事を付記する。
- 注5) 農地の出し手側が、管理を希望する相手として組織か個人かを限定している場合、それに該当しない受託(借地希望)者は請け負うことは出来ない。

- 注6) 本モデルでは一経営主体としての営農組合を仮想的に設定している。現実の営農組合の多くは任意組織であり、会計上も作業受託組織としての帳簿処理を行っている場合が多いが、農業経営を主宰する主体としての機能を果たしている組織も少なからずある。本研究が事例とした営農組合も法人格は未取得であるが、集落農地の維持管理を目的に地域内の休耕地の受け皿として農業経営を行う等の機能を果たしている。
- 注7) 2 回目の更新時期を迎えた場合は、少なくとも現時点で更新意思のない農家は次回も更新しないものとし、それ以外は更新するか否かをランダムに決定した。本稿では割愛するが、アンケートの回答では「未定」が多数を占めるため、厳密な調査による機械更新の自律的判断メカニズムの具体化が課題である。
- 注8) 便宜的措置として、アンケートで「赤字でも農業を続ける」と回答した農家は 0~3000 (円/時間・10a), 「赤字なら農業を止める」と回答した農家は 0~1500 (円/時間・10a) の範囲において一様乱数を用いて確率的に線引きした。
- 注9) 標高や傾斜、圃場の形状による作業条件の優劣はないものとする。また、モデル内では、農地は全て 10a 区画で表現されるため、たとえば面積が 20a の農地は「10a の農地が 2 つ隣接している」と考える。これは、現段階の表記上の限界である。
- 注10) 農地利用と流動化に注目したので、この 3 指標を選択した。
- 注11) 新規労働力の発生確率を凡そ 5% 程度の確率と仮定したが、逐次、厳密な人口動態資料に基づいた数値を用いる必要がある。
- 注12) 詳細は割愛したが、この時借地面積にも大きな開きが見られ、農地流動化の達成度にも明らかな違いがあった。これらは、強制的に営農組合へ農地・労働力を集積させた結果、個別農家のデッドストック化した労働力が解消された結果である。
- 注13) 図 3 の上段の予測結果と、具体的な数値で示す図 4 で示す結果には、若干の誤差が見られる。これは、試行毎にシミュレーション結果が異なるために起こる差である。

【参考文献, 引用文献】

- 1) Jacques Ferber (1999): 『Multi-Agent Systems -An Introduction to Distributed Artificial Intelligence-』, Addison-Wesley.
- 2) 生天目章 (1998): 『マルチエージェントと複雑系』, 森北出版.
- 3) 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), pp103-114.
- 4) 遠藤俊三 (1968): 圃場作業量の表示法の策定に関する研究, 農事試験場研究報告第 12 号.
- 5) 平泉光一 (1990): 圃場区画の差異が機械化作業の能率に及ぼす影響—モデル解析による耕耘作業と収穫作業の比較—, NARC 研究速報, p7, pp29-36.

Summary

We have developed the agricultural simulation model applying Multi-Agent Systems (MAS) and demonstrated the possibility of the model for prediction of the structural changes in agriculture for organizing regional agriculture systems at the Y community, Kanzaki town, Hyogo prefecture.

In this research, we carried out a sensitivity analysis on some crucial parameters such as rate of decrease in rice price, machine operation fees and land rent, labor efficiency of machine operations and the level of cooperativeness about land lease. As the results of this analysis, it became clear that the amelioration of cooperativeness about land lease would bring distinct effects to the future changes in agricultural structure and farmland use.