

# 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

- 地域農業計画における課題の同定と意思決定支援のために -

## Development of Community-based Agricultural Land Lease Model Applying Multi-Agent Systems

- For Problem Identification and Decision Making Support on Regional Agriculture Planning -

山下良平\* 星野 敏\*\*

Ryohei YAMASHITA\* Satoshi HOSHINO\*\*

(\*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

基幹的作物である米の需要低迷や担い手の不足等による土地利用型農業の不振から、今後営農継続が困難な農家層を中心に、耕作放棄地が更に増加すると考えられる。これに対して、中核的な担い手農家や生産組織が受け皿となって余剰農地を受け入れ、農業生産の集積・効率化を意図すること、つまり地域農業構造の改善が農政上の最重要課題の1つとなっている。

地域農業構造の改善はそれ自体地域農業計画の重要な目的となりうるが、個別農家による農地貸借行動の予測は極めて困難であり、従来、それを操作的に扱うモデルも殆ど存在しなかった。あえて指摘するならば、数理計画法による規範的な経営計画を援用する方法、コーホート・シェアトレンド法による地域人口と農業労働力の予測やトレンドを用いた外挿的な将来予測による方法、アンケートや農家意向調査の積み上げによる方法などがあるが、いずれも地域農業構造の変化を説明するモデルとしては不完全であった。

筆者らは、複雑な条件下での多主体の行動予測に適する理論である、マルチエージェントシステム(Multi-Agent Systems:以下,MAS)を用いて、標準的な中山間地域を想定した仮想農業集落における農地貸借過程を予測する、集落農地貸借モデル(Community-based Agricultural Land Lease Model:以下CALLモデル)を開発した。本稿では

CALLモデルの概要について紹介すると共に同モデルによる集落農業構造の予測結果を提示し、今後のモデルの展開方向を考察する。<sup>注1)</sup>

## II モデルの構造

### 1. MASの基本概念<sup>1) 2) 3)</sup>

まず、人工社会とは、人間の行動特性や研究対象の空間的な環境情報など、現実社会における重要な要素を抽出し、コンピュータ上に模擬的に再現した仮想空間を意味する。ここでは、研究対象である社会に内在する多数の人間は、外部から設計された所与の目標に対して合理的・効率的に意思決定をし、行動する行為主体(Agent)として定義される。エージェントベースのシミュレーションは、人工社会内部での個々の行為主体による選択的行動の集積から形成される社会の全体像や組織の変化過程を予測し、そこから現実社会に対する示唆を読み取る手法である。このような手法の適用によって、従来解析出来なかった社会的現象をモデル化することが可能となる。

### 2. 前提条件

CALLモデルでは、前述のMASの理論に立脚して、仮想農業集落を構築する。以下にモデル形成に掛かる主要な前提事項を示す。

・集落内の個々の農家は独立した経営体として意思決定を行い、農家毎に予め設定した農業従事者を保

有する。

- ・農家は、農地貸借を通じて家族労働力と保有農地のバランスを取ることが出来るが、それ以外の方法で資源調整を行うことが出来ない<sup>注2)</sup>。
- ・個々の農家の年間保有労働力は営農活動に対する制約条件として作用し、農地貸借行動や耕作放棄の判断基準となる。
- ・農地利用に関する意思決定において、集落内の農家間に特別な協調関係や敵対関係は存在しない。
- ・農家は他者の内部事情を全く知り得ない。したがって、如何なる農家も他の農家の行動を事前に予測することはできない。また、自己の労働力に関する時間的視野は単年とし、農地貸借の際に2年以上先の長期変動は考慮しない。
- ・農家数及び居住地は予測期間を通じて不変であり、転入・転出などによる新規参入・退出はない。
- ・集落内の農地は集落内の農家のみによって耕作され、また集落内の農家は集落外の農地を耕作しない。つまり出作、入作はない。

### 3. 空間のモデル化

CALLモデルでは農業集落の土地利用状態を、1セル当り10a(1,000m<sup>2</sup>)、20×20の二次元格子平面に投影する。集落の土地利用は農家宅地、農地、その他(山林を想定、土地利用変化に関与しない)の3種類に限定した。今回作成したプロトタイプでは、概ね標準的な中山間地域の集落として妥当な環境設定とするため、シミュレーション初期状態での各農家の保有農地を適度に分散させた。また、集落全体の耕地面積は25.5ha(255セル)とした。なお、当該集落の経営形態を稲作単一経営とした。(図1参照)

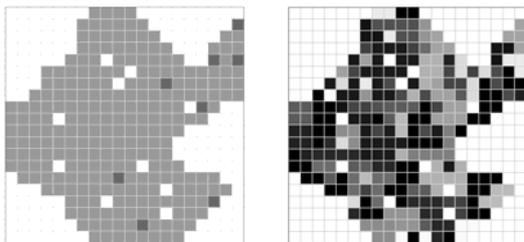


図1 供試した農業集落土地利用(左)と農地の所有者別配置(右)  
(左図の濃色セルは休耕地、白抜きは農家宅地)

### 4. 意思決定主体の定義

当モデルでは、32戸の農家を意思決定主体として配置した。各農家は後述する意思決定ルールに従って、耕作、放棄、貸借などの行動を繰り返す。

農家は内部情報として、農家ID(1~32)、居住地座標(X,Y)、及び予め設定した農業従事者を保有する。各農家が投下可能な年間保有労働時間は、農業従事者の数と属性から算出する。農業従事者の転出や帰農による各農家の保有労働力の将来変動は与件として外部から与える。このとき、集落全体の総労働力は逡減するように制御した。(労働時間換算で、30年後に△約20%に設定)

### 5. 農地付帯情報

集落内の各農地が付帯する内部情報の定義は以下に示す通りである。

**(1) 圃場利用条件** 各農地(X,Y)の利便性を示す係数 $N_{(x,y)}$ は、その地点の標高、傾斜、圃場の整備具合、水路へのアクセスの良さなど地理的条件から総合的に段階化され、労働生産性に寄与する変数とする。

**(2) 肥沃度** 各農地(X,Y)の肥沃度を示す係数 $F_{(x,y)}$ は、その地点の土壌成分、日照時間などから総合的に評価され、土地生産性に寄与する変数とする。

**(3) 所有者** 各農地には、それぞれ所有者( $P=1\sim 32$ )が定義されている。農地売買は認められていないので、期間中、所有者は変化しない。

**(4) 距離** 各農地(X,Y)には、耕作者(P)の所在地( $X_P, Y_P$ )までの直線距離( $D_{(x,y)}$ )が付与される。 $D_{(x,y)}$ は次式によって算出する。

$$D_{(x,y)} = \sqrt{(X - X_P)^2 + (Y - Y_P)^2} \quad (1)$$

**(5) 利用状態** 各農地(X,Y)は、①荒廃田になっている、②休耕されている、③所有者に耕作されている、④所有者以外の農家に耕作されている、のいずれかの状態をとる。

**(6) 農地集積係数** 同一の農家が所有する農地の団地規模に応じて農地集積係数( $A_{(x,y)}$ )を算出する。一般に団地が大きくなるに従って、その労働生産性は向上することから、 $A_{(x,y)}$ は当該農地の耕作に要する労働時間算出に寄与する係数とする。 $A_{(x,y)}$ は次式によって算出する。

$$A_{(X,Y)} = \alpha^\beta \quad (2)$$

ここに、

$\alpha$  : 当該農地の耕作に要する労働時間の通減効果を示すパラメータ(1以下の正数で定義)。

$\beta$  : 農地(X,Y)に隣接する耕地で、同所有者の経営耕地である農地セル数から決定されるパラメータ。当モデルの初期設定では、当該農地セル数が0に対して $\beta$ が1, 1に対して2, 2に対して3, 3以上に対して一律4で定義。

とする。

## 6. 農業経営行動の定式化<sup>注3)</sup>

当モデルでは、各農家の経営行動を基本行動パターン(耕作, 休耕, 貸借)の組み合わせにより表現する。以下にその基本行動を定式化する。

**(1)所有地の耕作** 経営耕地数がKである農家(P)が、その年次に負担すべき労働時間 $T_p$ (時間)を次式により算定する。

$$T_p = \sum_{k=1}^K T \times \delta^{(D_{(X,Y)}^k - 1)} \times A_{(X,Y)}^k \times N_{(X,Y)}^k \quad (3)$$

ここに、

T : 1農地セル(10a相当)を耕作するために必要な標準的な労働時間を表すパラメータ(時間)

$\delta$  : 農家の居住地から農地セルまでの直線距離が必要な労働時間に及ぼす影響を表すパラメータ(1以上の正数で定義)

とする。

農家(P)の当年次保有労働力を $S_p$ (時間)と置くと、この一連の行動を $S_p \geq T_p$ である限り繰り返す。

**(2)労働力基準の休耕判断** 農業粗収益 $R_{(X,Y)}$ (円)及び農業経営費 $C_{(X,Y)}$ (円)を次式により算出する。

$$R_{(X,Y)} = F_{(X,Y)} \times L \times M \quad (4)$$

$$C_{(X,Y)} = C \times \gamma^n \quad (5)$$

ここに、

L : 1農地セル当たりの標準的な収量を表すパラメータ(kg)【 $\therefore F_{(X,Y)} \times L$  : 当該セルの実収量】

M : 米価を表すパラメータ(円/kg)

C : 1農地セル当たりの物財費の単位量を表すパラメータ(円)

$\gamma$  : 当該農家の総作付け耕地セル数が物財費の通減に寄与する割合を定めたパラメータ(1以下の正数で定義)

$\eta$  : 当該農家の総作付け耕地セル数から決定されるパラメータ。CALLモデルの初期設定では、該当する耕地セル数が1~3に対して $\eta$ が0, 4~6に対して1, 7~9に対して2, 10以上に対して一律3で定義。

とする。

保有労働力の減少により、 $S_p < T_p$ になり次第、農地を休耕する。具体的には、前年度の作付け農地より、農地セル当たりの農業所得が最小となる農地、すなわち(4), (5)より、

$$\text{Min} \{ R_{(X,Y)} - C_{(X,Y)} \} \quad (6)$$

となるような農地(X,Y)を探索し、 $S_p \geq T_p$ を満足するまで順に休耕する。

**(3)利益基準による休耕判断** 現在の作付け農地より、セル単位の農業所得が、外生的に設定される最低利益水準(Ha)を満たさない農地、すなわち、

$$R_{(X,Y)} - C_{(X,Y)} < Ha \quad (7)$$

となるような農地(X,Y)を探索し、労働力の如何に関わらず放棄する。

**(4)農地貸借** (2)もしくは(3)の行動による他農家の不作付け地が、自らの作付け農地に隣接し、且つ当該農地の耕作による農業所得の期待額が、外生的に設定される借入水準(Hr)以上である場合、 $S_p \geq T_p$ である限り賃借契約(全ての農地のセル当地代=10,000(円)に固定)により利用権の譲渡を受ける。

CALLモデルでは、(1)及び(2)は全農家が該当する項目とし、(3)・(4)の行動の何れかを選択する様に設定されている(本試行ではこの割合を(3):(4)=18戸:14戸とした)。一般に行動(3)を取る農家は、家族内に農外従事者もしくは兼業従事者が存在し、農業充足率の低い農家、あるいは高齢農業従事者のみの農家であると考えられる。一方、行動(4)を取る農家は、積極的に規模拡大を行い、企業的な専業農家や有力な大規模農家、認定農家であると考えられる。<sup>注4)</sup>

### III モデルによる分析試行

#### 1. シナリオの定義

表1にCALLモデル内の投入データ及びパラメータに関する詳細を示す。当モデルでは、パラメータを制御する事により、分析対象とすべき状況をシナリオとして仮説的に生成する事が可能である。本稿では、米価の将来変動と農地利用状態の変化過程との関連・影響をシナリオとして提示する。なお、本試行の予測期間は30年とし、分析の際、パラメータの標準値は、農業経営統計調査(平成14年8月6日公表)の結果を用いて妥当な値を推定した。

表1 投入データとパラメータの標準設定

分類	項目	備考
データ	圃場利用条件 $N_{(x,y)}$	与件としてモデルに与え、全てのケースで変更しない。
	肥沃度 $F_{(x,y)}$	
	土地利用(所有権)(図1)	
	農家労働力の将来予測(農家毎の家族構成に基づき30年分の推移を仮定)	
パラメータ	米価の初期値 $M$ (230円/kg)	米価は初期設定値から毎年、定率の逓減率で減少する。
	米価の逓減率(年率 $\Delta 0.5\%$ )	
	収益基準 $H_a$ (10,000円)	耕作の継続に関する判定基準。満足しない場合、休耕。
	借入基準 $H_r$ (15,000円)	他の休耕地を借り入れる場合の収益判定の基準と範囲。
	休耕地の認知能力(距離20)	
	農地集積係数 $\alpha$ (0.90)	「規模の経済」の効果を調整する。
	費用削減係数 $\gamma$ (0.90)	
	距離に対する重み $\delta$ (1.025)	必要労働力の割増

注) 括弧内の数値はパラメータの標準値。

モデルの稼動にあたり、米価の水準とその変動率が、今後の農地の荒廃に如何なる影響を及ぼすかを推察するため、以下に示す4つのケースを設定した。(図2)

【Case1】米の価格水準が概ね現在の実勢価格(250円/kg, 15,000円/60kg)の水準でスタートし、かつ、その水準が穏やか(年率 $\Delta 0.998\%$ )に下落する場合。

【Case2】ケース1と同様、実勢価格なみの水準からスタートするが、低下率がケース1よりもやや急(年率 $\Delta 0.990\%$ )な場合。

【Case3】米の価格水準が実勢価格より低い水準

(200円/kg, 12,000円/60kg)でスタートし、Case1と同率に下落する場合。

【Case4】ケース3と同様、低価格からスタートするが、Case2と同率に下落する場合。

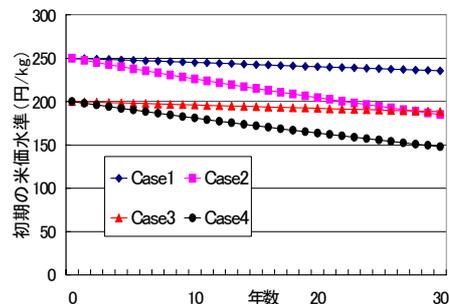


図2 米価水準とその変動のCase別価格推移

#### 2. 実験結果に基づく考察

##### (1) 農地利用状態の視覚的变化

Case1~Case4に対して、モデル実験によって得られた30年後の農地利用状態の予測図を図3に示す(注5)。Case1, Case2及びCase3に関しては、休耕地や荒廃地が顕在化する位置、あるいは量的な部分に至るまで、酷似した結果が得られた。つまり、想定農業集落では、米価が向こう30年間に概ね185円/kg(11,100円/60kg)の範囲内であれば、農地利用変化に対する米価変動の寄与率は低く、他の要因によって農地保全が規定されている可能性が高いと推察される。

一方、Case4の結果から、30年後に約148円/kg

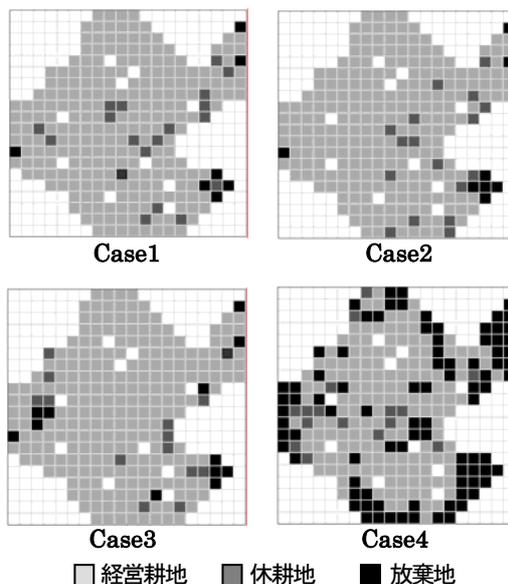


図3 30年後の農地利用状態の予測図

(8,800 円/60kg) の水準まで下落すると、居住地から相対的に遠距離にある集落界付近の農地より荒廃が進行する事に加え、集落内部にも放棄地が点在する事が確認できる。表 2 に示すように、本試行では、「休耕地認知距離」を 20 に設定している事から、理論上は全ての休耕地は、何れかの農家の視野に入っている事になる。したがって、借り手がなく荒廃する農地が多発する事は、米価の下落がもたらす収益率の低下（最終値 1 セルあたり農業粗収益にして約 75,000 円）が、有力農家の経営規模拡大による効率化の意欲を阻害する水準に達していると思われる。

また、耕地面積の変化過程を利用状態別に示した図 4 に示す。図 4 より、Case4 は 10 年後に他のケースのラインから外れ始めるが、このときの米価は 181 円/kg (10,850 円/60kg) であり、この額は、今後の米価水準と当該集落の農地保全状況との関連を分析する上で、有意な数値と捉えることが出来る。さらに、Case4 では 30 年後に半分以上の農地が荒廃していると予測されているが、現実的な視点で論じるならば、そのような状態では、当モデルでは考慮されていない用排水路ネットワークに対する悪影響が考えられる。したがって、残りの農地も事実上放棄され、「集落ぐるみの離農」に近い状態が予想される。

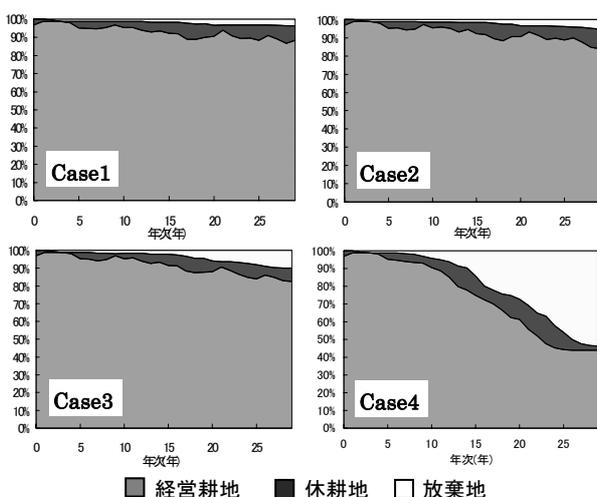


図 4 利用状態別耕地面積率の変化過程

## (2) 農業構造変化

次に、予測期間中の農業構造の変化過程を考察

する。図 5 は構造改善が順調に進んだ Case1 と、放棄地が大幅に拡大した Case4 の経営規模階層別シェアの推移を示している。ここでは I 層 (0.5ha 以下層)、II 層 (0.6ha~1.0ha)、III 層 (1.1ha~1.5ha 層)、IV 層 (1.6ha 以上層) の 4 階層に区分している。当モデルは均質な初期構造を仮定しており、初期時点で約 9 割の農家が II 層に属するが、Case1 では、経営規模を縮小させて I 層へ移動した農家が次第に増加すると同時に、借地による規模拡大によって III 層のシェアが拡大している。

一方、Case4 では、時間の経過と共に半数以上の農家が経営規模を縮小させて、II 層から I 層に移行した。IV 層のシェアが Case1 よりも若干高い点は、米価水準の下落により、農地貸借にかかる土地の供給量が増加し、規模拡大により経営の効率化を実現させる農家数が増加したためであると推察される。階層分解の基軸となる経営規模が上方向にシフトしているが、I 層の構成農家の大半は、土地持ち非農家であることから、II 層、あるいは III 層を形成する農家の、潜在的な労働力資源が有効に活用されていないことが読み取れる。

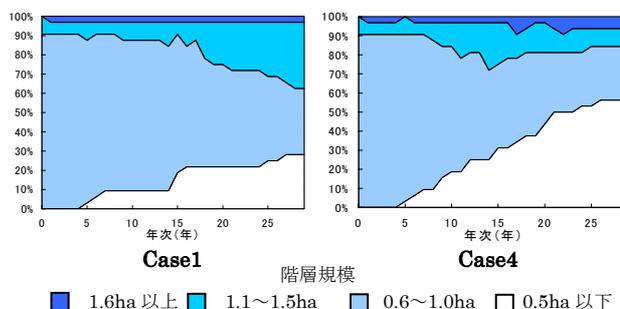


図 5 規模階層構造の変化

## IV MAS を適用したモデル化の可能性

### 1. モデルの発展性

本稿では、MAS を適用した農地利用変化の予測モデルに構築し、実験的分析を行った。本モデルでは、仮想空間における行為主体を設定することで、個々の意思決定(ミクロ)と農業構造変化(マクロ)を関連付けるという、既存の土地利用変化の予測モデルと比較して、新たな視点を導入した。CALL モデルは、パラメータを制御することで、

多様な状況を仮想的に生成する事が出来る。設定された条件下で将来像を予測し、反復的に実行することにより、従来では評価が困難であった事項の比較分析を可能にした。本稿では記載していないが、現行のモデル構造では、農業構造の変化に対する米価水準と変動率の影響のほか、農外就業機会の増加に伴う影響、農地貸借にかかる仲介組織の存在の意義、「規模の経済」が貸借に及ぼす影響などのシミュレーションを行う事も可能である。またモデルの発展性として、畑地や工・商業地など、供試集落内の地目を増やしたうえで、政策（生産調整など）や制度（土地利用規制）を変数化し、多角的に仮説を検証する環境を整備すれば、中山間地域農業集落だけではなく、より広範な分析対象地域を設定する事も出来る。

## 2. モデルの改良に関する課題

しかしながら、現行のモデルは、集落の設定や農家の行動ルールが極めて単純な構造であり、実用には更なる改良が不可欠である。

改善項目としては、まず第1に、農業所得や、農地集積による「規模の経済」の効果を調節する係数、あるいは農地1セル当りの必要労働時間の算定式など、関係数値の定義の精緻化が挙げられる。現段階では、これらの数値の算定式が簡略化された構造となっているため、さらに厳密な修正を行う必要がある。

第2に、保有労働力の将来変動を如何に表現するかの問題である。現行のCALLモデルでは、全ての農家に対して将来変動も含めて与件として取り扱っている。しかしながら、農地利用を予測するうえで、家族労働力の将来変動は中心的な要素であるにもかかわらず、労働者の増減に関しては不確実性が高い。そのうえ当該農家が投下可能な労働時間の定量化も困難である。したがって、現在の設定方法では十分とは言い難く、実用に向けて、現地調査を含め、妥当な設定方法の模索が今後の最重要課題といえる。<sup>注6)</sup>

最後に、シミュレーションを通して一定である農家の単調な行動規則（意思決定過程）に、協調的な判断、競争的な判断、あるいは敵対的な判断などを組み込み、より自律的で、多様性のある意思決定構造を組み込まなければならない。

以上の点を中心に更にモデルを発展させ、地域農業経営に関する政策の立案・策定過程、あるいは農村地域の集落営農計画を始めとする地域計画づくりの場面において、住民意識の啓発や問題の特定・解決支援に向けて、有効な情報提示という形で貢献する事を目標とする。

### 【 注 釈 】

- 注1) 農作業効率化の手段として、農地賃貸借と農作業受委託があり、本来明確に識別して論じるべきである。本研究段階では農地賃貸借のみを扱ったが、作業受委託構造をモデルに具備させる事が今後の重要な課題となる。
- 注2) つまり、集落営農のような組織的な営農や農作業の受委託あるいは農業機械の共同利用などは行わない。また、農地の売買を存在しないとする。
- 注3) CALL モデルで用いる経営収支式は便宜に設定したものであり、農業簿記上の定義とは厳密には異なる部分がある。
- 注4) 中山間地域農業では、農業所得が営農継続の判断基準ではないという視点は、現時点では考慮せず、全農家が収支計算の下に農業を行うと仮定する。
- 注5) モデルの稼働は各ケースについて5回ずつ行い、その平均値で結果を代表させる。
- 注6) 当モデル内では、個別農家の保有労働時間の絶対量はパラメータによって制御可能である。

### 【 参考文献、引用文献 】

- 1) 生天目 章(1998):『マルチエージェントと複雑系』, 森北出版.
- 2) J.M.Epstein, R.Axtell (著) 服部正太, 木村香代子 (訳) (1999):『人工社会－複雑系とマルチエージェントシミュレーション－』, 共立出版.
- 3) 出口 弘 他(2000):「エージェントベースアプローチ」, 組織科学. Vol34, No.2, pp2-79

---

Experimental analyses of real social phenomena have been difficult because of physical and ethical limitations. In this research, we developed a model that predicts process of change in agricultural structure by Community-based Agricultural Land Lease model (CALL model) applying Multi-Agent Systems (MAS). The CALL model is a simulation model based on artificial society in computer. The CALL model is expected to be a new approach to overcome these difficulties. Though the model should be further improved, it would be able to provide crucial information for local agricultural planning.