

マルチエージェント・シミュレーションによる 地域農業計画モデルの可能性

星野 敏^{※1}

山下 良平^{※2}

※1 京都大学大学院農学研究科

※2 神戸大学大学院自然科学研究科

1. はじめに

筆者らは、近年マルチエージェント・シミュレーションを用いた地域農業計画モデルを開発してきた。初代のCALLモデル（Community-based Agricultural Land Lease Model）は農地流動化を予想するためのプロトタイプモデルとして開発したものである。そして、ASMAP（Agent-based Simulation Model for Agricultural Planning）は、作業受委託の機能を加えた改良版である。ASMAPは、農地流動化や農業構造の長期予測のみならず様々な計画関連課題に適用できることが明らかになってきた。

本論では、地域農業計画モデル論¹の展開を踏まえて、マルチエージェントモデルによる地域農業計画モデルの可能性について検討する。

2. 地域農業計画モデル論の展開

能美誠（1999）²は、経験や実態等をもとにして、そこから機能的に構築した計画手法（帰納論的接近法）と高度な数学や計量的手法を適用した計画手法（数学的接近法）に分類している。ここでは、主として後者の地域農業計画モデルの展開を簡単に整理しておきたい。

（1）地域農業計画モデル論の展開

農村計画分野における計画手法にはいろいろなタイプのものがあるが、地域農業計画に関する計画モデルは、まず農業経営・経済学分野で研究されてきた。この分野の古典的な成書として、武藤と夫・森島賢らの研究（1979）³や農林水産省農業研究センター編の研究（1983）⁴がある。これらの書籍では、人口・就業者予測、多変量解析を応用した地域分析法、数理計画手法を用いた個別経営計画、計量経済モデルなどが、非常に幅広く解説されている。地域農業計画モデルで用いられている代表的な手法は線形計画手法である。線形計画手法は、戦後単体法が開発されて以来、様々な分野で応用されるようになったが、農業経営分野では1960年代から個別経営計画に適用した

論文が見られるようになり、計算機によって広く普及する。

当初は個別経営体を対象にした最適農業計画モデルであったが、すぐに様々な課題へ拡張されていった。たとえば、農業経営計量分析研究会の研究（1985）⁵では、作目と技術の選択、長期的な投資と資金繰りの問題、価格変動に伴うリスク対応などの個別経営計画に関する課題に適用されただけでなく、営農集団の経営管理や組織運営や集団転作、地域農業システムなどの地域農業計画に関するモデルも提案されている。また、下村（1989）⁶も同様に集団の営農問題への適用を試みており、個別経営計画から地域農業計画への展開がみられる。さらに南石（1991）⁷は確率的多目標計画法を用いた地域農業計画モデルを提案し、不確実性下の意思決定における同手法の有効性を明らかにしている。このように数理計画法を用いた計画モデルは今日まで多くの研究者と実務者の関心を引きつけている。それだけに、線形計画法による農業計画モデルの課題や限界についてもよく検討されてきたが、これについては前掲の能美の整理（1999）が詳しい。

数理計画法以外の地域農業モデルについてみてみよう。MITのJ.W.フォレスター教授によるインダストリアル・ダイナミクス（1961）やアーバン・ダイナミクス（1969）を契機に、我が国でも都市計画・地域計画の分野で地域モデルが1970年代にブームとなり、研究はもろろんのこと、シンクタンクやコンサルタントによって実務レベルでも都市発展の予測モデルが盛んに使われた。1980年代に入って農村計画分野にもシステム・ダイナミクスを用いたモデル研究がみられるようになる。該当するモデル研究としては、土地改良事業の投資効果を計測する竹谷の研究（1981、1986）⁸や農地開発の効果を予測する門間の研究（1987）⁹がある。また、計量経済モデルを農山村地域に当てはめてモデルを構築した研究には上路利雄（1979）¹⁰、高坂祐輔（1983）¹¹などがある。ただし、農村計画分野での適用事例はいずれも研究ベースでの実験的な試みの段階にとどまり、都市モデルのように実践的に使われることはなかった。

(2) OR手法による地域農業計画モデルの問題

個別経営は意思決定主体を単一の主体と見なして良いが、地域は多数の意思決定主体が絡んだ集合体である。これに対応するため、地域レベルの計画モデルでは個別経営レベルにはなかった幾つかの課題に直面する。

第1に、地域レベルのモデルでは多数の農家間の多様な関係をモデルに組み込む必要がある。数理計画法によるモデルではこれが極めて大きな負担となる。実際、営農集団への適用の多くは数戸程度であり、多数の主体を取り扱うには限界がある。

第2に、そのような多数の主体はそれぞれに異なる価値観を持っている。かつてのようにそれを均質的なものととらえることはもはや妥当性を欠いている。個々の農家の判断基準がそれぞれに異なるという事実には、農家間の連携に関しても判断基準が異なってくると言うことを意味する。短期的な経済合理性以外の判断基準が少なからず農家の連携行動を支配しており、しかもその基準が農家によって異なっているのである。

第3に、地域農業が営農組織によって一体的に行動しているようにみえても農家間の連携は緩やかであり、一般の企業のように命令系の指示は機能しない。従来の(OR手法による)モデルの多くはこのような主体間の「緩やかな連携」という構造を的確に表現することが苦手である。

第4に、厳密に構造化されたモデルには、情報加工に関してある種の効率の悪さを感じることもある。これは多主体に起因する課題と言うよりも、ハード・システムズ・アプローチに起因する課題である。数理計画手法等でモデルを構築するためには、相当大きな技術係数のマトリクスが必要になる。この技術係数を求めることはかなりの作業量であるが、その大部分は計算過程でほとんど使われない。しかも実際には、モデルが考慮外とした要因によって厳密に求めた解の妥当性が失われることが少なくない。「非効率」と断定することは正しくないかもしれないが、無駄な情報収集と加工が多いことは間違いない。

第5に、関係者が完全な知識の保有を仮定している点である。実際には、モデルの作成者の知識もその結果を事後的に知ることになる農業者の知識も限定されたものである。

上述の課題は、OR的に扱いやすい部分だけを課題として切り出したモデル化が地域レベルの農業のモデル化で適用限界にあることを示唆している。そして地域レベルの構造化しにくい課題に対して有効なモデルの開発が遅れているのである。

(3) マイクロ・シミュレーションによる地域農業計画モデル

上述以外にも地域レベルの農業計画モデルに関して新たな動きがある。マイクロ・シミュレーション(MS)である。MSは、個人や世帯、そして企業といった行動主体を分析単位としたシミュレーションであり、個人の行動を確率的に扱うことからモンテ・カルロシミュレーション等が用いられる¹²。たとえば、マイクロレベルの経済行動を積み上げてマクロレベルの経済変動をシミュレートするという技法である。労働経済学・人口学の分野あるいは交通政策評価などで広く用いられてきた。集計型のモデルが活動をブラックボックスとして扱っているため、現象のメカニズムを読み取れないという問題があった。

農業分野でも1980年代から研究事例があるが、最近では遠藤(2004)の研究がある。人口の変動、農作業従事日数の変動、経営主の交代の各プロセスに確率過程を組み込み、各農家の農業労働力の推計を行い、更にそれを農地面積に反映させて農地利用(耕作放棄地)の予測を試みている。MSもある種の人工社会を構築しており、マルチエージェント・シミュレーションと類似している点がある。

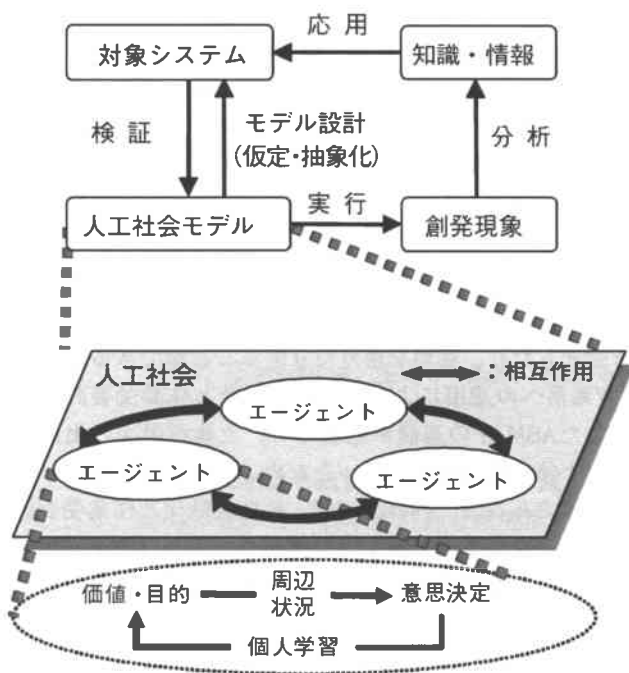
3. マルチエージェント・シミュレーションによる地域農業計画モデル

本節では、マルチエージェント・シミュレーションの特徴とその農村計画分野における応用について整理したい。

(1) マルチエージェント・シミュレーションとは¹³

マルチエージェント・シミュレーション(Multi-Agent simulation, MAS)は、計算科学分野の主要な理論である分散型人工知能分野で発達した。社会変容というマクロレベルの問題について、マイクロレベルの主体の行動から解明しようとする手法である。経済取引、投票行動、ゲーム(駆け引き・スポーツ)、インターネットなど多数の主体の意思決定が絡む複雑なシステムに対して有効なモデリング手法であると言われる。PC上に「人工社会(仮想社会)」を構築し、多数のエージェントがそこで意志決定を行い、相互作用を及ぼし合う。“実験”が困難な分野でもさまざまなケースについて実験することができる(図-1)。

MASによるモデルでは、まず、シミュレーションの場(人工社会)を構築する。次に、現実社会の人間の行為を代行するエージェント(Agent)の意思決定機構や、エージェント間の相互作用を定義する。そして、人工社会でのエージェントの行動と、社会の大局的な変化との因果関係を分析することで、現実社会の問題解決に対する提言に結びつけることができる。



(図一) MASによるモデル分析の概念¹⁴

(2) MASの特徴

1) エージェント間の相互作用の重視

2節(3)で、MSについて述べたが、MASとMSはマクロレベルの指標を追跡するためにマイクロレベルの行動主体をモデル化していること、また、MASにもMSと同様、確率過程が組み込まれていることなどから、両者に類似点が多く、その境界は必ずしも明確ではない。しかし、あえて線を引くとするならば、MASが行動主体(エージェント)間の相互作用にこだわってモデルを構築するのに対して、MSには相互作用についてのこだわりがみられない点である。

2) 過度な厳密性を要求しないこと

後述するように、MASによる地域農業モデルでは、各農家(エージェント)は必ずしも最適に行動しているわけではない。実際には何か不具合(労働力が低下、収益性が悪化)が出たときに「居心地の良い方向に」動くようにプログラムされている。このように、モデルは過度な厳密性を農家に要求していないが、このことはむしろ現実に則しているように思われる。

(3) マルチエージェントシミュレータ

MASによるモデルは、通常のプログラム言語(C言語等)を用いても構築することができる。しかし、より簡単にプログラムを作成し、実行するために専用のシミュレータが開発されている。SwarmやStarLogoなど海外で開発された定番のものもあるが、KK-MAS(開発元:(株)

構造計画研究所)は日本語のWindows環境で作動し、GUIの操作が簡易であり、多彩な出力機能を用意しているので使いやすい。KK-MASの特徴は、第1に、簡易で広範に普及しているプログラミング言語であるVisual Basicに準拠したルール書式によって記述可能であること、第2に、分析のためのグラフ表示やデータ出力機能などの補助的機能も整っていることである。このため、仮説検証のための試行錯誤が簡単かつ自由に行うことが可能になる。後述する我々のモデルもこのKK-MAS上で開発されている。

さらに、近年KK-MASを改良したartisocが開発され、KK-MASと比べて安定性と操作性が一段と向上している¹⁵。

4. CALLモデルからASMAPへ

本節では、開発契機、CALLモデル、ASMAPモデルについて紹介したい。なお、モデルの詳細については引用文献を参照いただきたい。

(1) モデル開発の契機

計画づくりを支援する計量手法は数多く提案されているが、モデル化し易いところをモデル化したものであり、実は地域農業計画に必要な情報を提供してくれる手法は必ずしも多くない。モデルの開発に至る私的な経緯を紹介すると次の通りである。1988年に広島県向原町(現安芸高田市)で全国に先駆けて財団法人向原町農業公社が設立された。公社の設立目的は、引き受け手のない農地の農作業を公社が受託することで、耕作放棄を食い止める、新たな担い手が登場するまでの間、農地を保全することである。1990年代に入って、農業の担い手不足を抱えた各地の中山間自治体が同様の公社を設立するようになった。当時、岡山大学に奉職していた星野敏も岡山県内の自治体から農業公社に関する調査依頼を受けたが、公社立ち上げの基礎資料となる将来の耕作放棄地や農地流動化の推移を把握する手法がなかった。当時は流動化に関する農家の意向調査の数値を積み上げる単純な方法しか持ち合わせていなかった。意向調査の結果と現実の需要とは異なっていた。つまり、公社の規模を決定する上で必要な農作業委託の需要予測が的確にできなかったのである。しかし、まもなくMASと出会い、現在のCALLモデルやASMAPの原型となる集落内の個別農家をエージェントにした農地貸借モデルの構想に結実した。

(2) CALLモデル

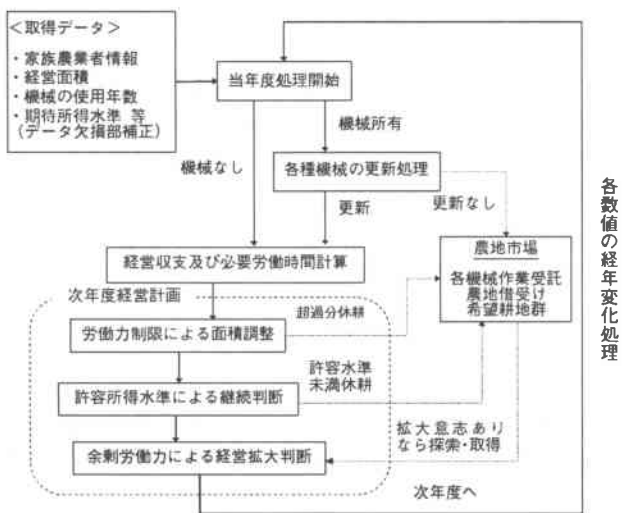
MASによる地域農業計画モデルの第1号となるCALLモデル¹⁶は星野が2002年に神戸大学へ異動してから着手された。最初の専攻生となった山下良平がKK-MASを駆使してモデルを構築した。このモデルのユニークな点は、個別農家間の農地貸借行動に焦点をあててモデル化した

点である。また、従来の数理計画モデルでは考慮されていない圃場の空間配置や肥沃度、団地化による生産効率などを反映させた。仮想的なデータセットを用いたプロトタイプであったが、パラメータ値を操作することで、様々な試行実験が可能となった。たとえば、耕作放棄地の発生状況を示す土地利用図（メッシュ図）、農業構造の変化（規模階層の分化）、耕作放棄への米価の影響、農地流動化を支援する組織の効果など、従来のモデルでは得難いシミュレーションができるようになった。

(3) ASMAPの開発

引き続き、CALLモデルを現実の地域へ適用する研究に進んだ。農地貸借に加えて、基幹作業の受委託を内装したモデルを完成させた。これがASMMapである¹⁷。その改善点を箇条書きにすると以下の通りである。

- 圃場単位の経営計算を厳密に導入したこと。
- 機械の保有状況および更新意向を組み込んだこと。
- 作業委託先の要件を組み込んだこと。
- 家族労働力の推定方法をより厳密にしたこと。
- 集落営農組織を代表するエージェントを新たに追加したこと。



(図-2) 農家の意思決定フロー

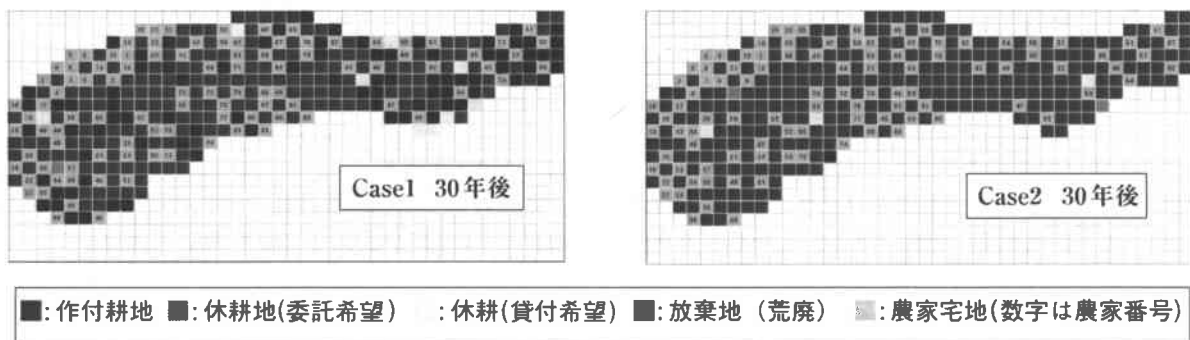
適用地域は兵庫県神崎町（現在は神河町）のY集落（農家数約100戸）である。純農村地域であるが、地元では営農組織設立の希望があるため、その効果もあわせて計測した。また、必要なデータを確保するために、アンケート調査を平行して実施し、その意向をモデルに反映させる方式をとった。(図-2)は、農家の意思決定フローを示している。労働力による面積調整判断と許容所得水準による継続判断（その基準はそれぞれに農家毎に異なる）を実施している。逆に余力のある農家は作業を受託したり、農地を借りたりすることができる。

Y集落への適用によって、農地貸借と作業受委託を内装したASMMapの基礎が完成した。土地利用図の出力にまで十分に行き届かなかったため、この段階ではメッシュ表示であるが、内容的には、農地流動化と作業受委託に関する単純予測を示すだけでなく、もし、集落営農組織を結成した場合に如何なる効果が得られるかを極めてドラスティックに明らかにすることができた(図-3)。

(4) 営農組織の統合効果の計測

さらに、兵庫県加西市のH地区において、ASMMapを用いて集落営農組織の統合に関するシミュレーション分析を行った¹⁸。対象地域では、タイプの異なる4つの営農組合が隣接している(表-1)。それぞれの組織が統合せずに独立で運営する場合、2つずつに統合した場合、すべてが1つに統合した場合を設定して、組織の労働報酬や土地利用率がどのように推移するかを明らかにした。

現在のまま営農組合が独立に運営を続けた場合は、米価の下落に伴う収益性の悪化には完全には対応しきれないことが予測された。また、営農組合の統合を計画する場合においても、小規模の集落営農を形成する場合と大規模の集落営農を形成する場合では、効果が大きく異なることが明らかにされた。この分析の成功によって、ASMMapに地域農業の組織化を啓発するツールとしての役割が追加されることになる。



(図-3) 農家保全のシミュレーション結果（左：単純将来予測 右：集落営農を組織）：グラビア参照

(表一) 各農業組合の比較

	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。出所は参考文献18を参照のこと。

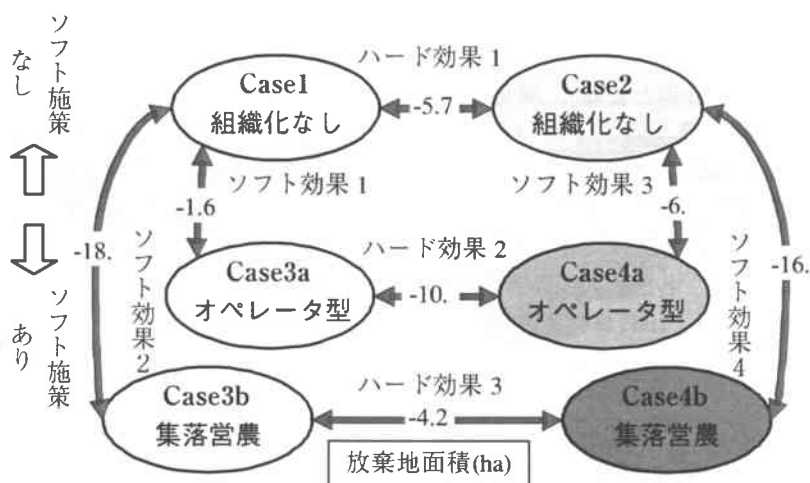
(5) 圃場整備事業における総合化手法の効果計測

そして、2004年度からの日本水土総合研究所の委託調査では、圃場整備事業の総合化手法の効果計測を試みている¹⁹。ハード整備（圃場整備）は圃場データを整備圃場版に入れ替えることにより、また、ソフト施策は担い手あるいは営農組織となるエージェントを操作することによりASMAPでそれぞれ評価することができる。（表一2）は分析の枠組みを示している。圃場整備の有

無と担い手への集約の有無を組み合わせた6つ（本質的には4つ）のケースを設定してそれぞれ結果を比較することができた。結局、圃場整備事業はソフト対策とあわせて実施されることにより、単独で実施するよりも大きな効果が期待されることを明らかにした（図一4）。また、土地利用図のアウトプットについては、GIS出力が可能になった。

(表一2) 分析の枠組み (Case設定)

	圃場整備なし	圃場整備あり
担い手への集約なし	Case 1: 比較の基準となるケース	Case 2: ハード単独整備 (圃場整備事業を単独実施)
担い手集約a: 担い手農家型	Case 3a: 担い手農家への土地・作業の集約（農業経営基盤強化促進法による施策を単独実施）	Case 4a: 総合化手法 a
担い手集約b: 営農組合型	Case 3b: 営農組織を受け皿とする土地・作業の集約（同上）	Case 4b: 総合化手法 b



(図一4) 総合化手法・ハード単独・ソフト単独の効果比較 (指標: 耕作放棄地)

5. おわりに

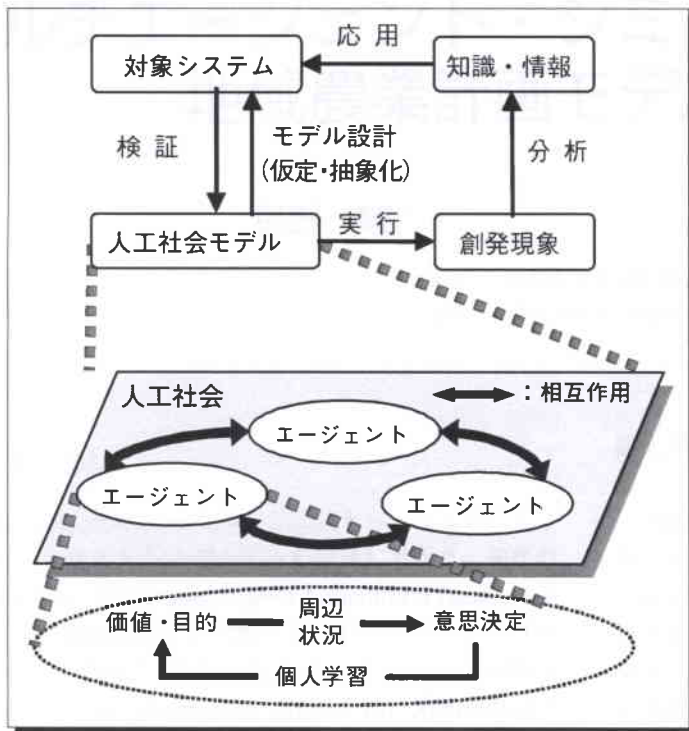
本稿では、地域農業計画モデルの流れを鳥瞰し、MASによる地域農業計画モデルの開発に至る契機やこれまでの研究の展開を明らかにした。

ASMAPは人工社会という場において地域農業を再現したモデルであるから、様々な課題についてのシミュレーションが可能である。つまり、幅広い地域農業の課題に対してシミュレーションができるという特徴を持ち、非常に発展可能性の高いモデリング手法である。しかしながら、現段階では課題にあわせてプログラムの一部を書き直す作業が必要であり、非専門家がモデルを自由に操作できるようにはなっていない。本モデル手法の一層の普及を図るためには、簡易なインターフェイスの開発と操作のマニュアル化が必要になると思われる。

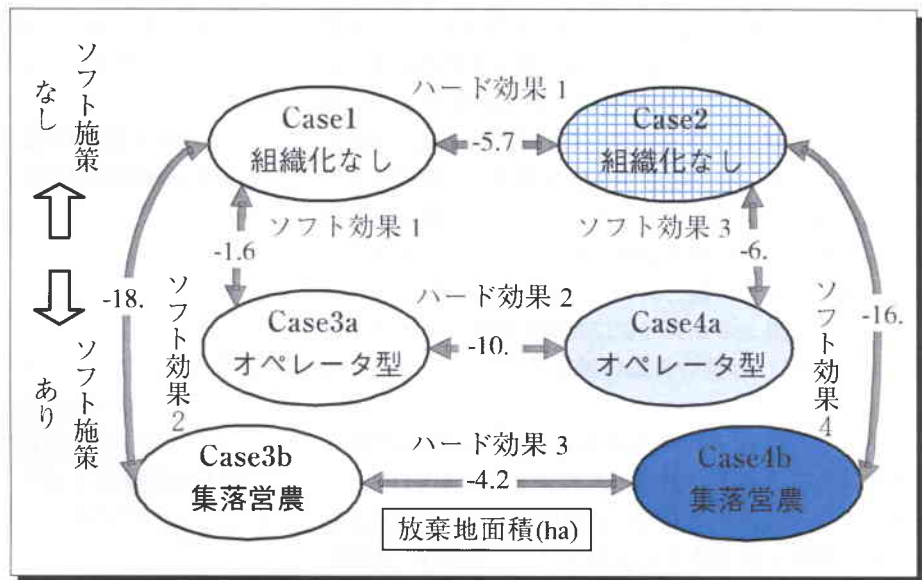
また、ASMAPは外的環境や政策に関して様々な状況を想定し、その結果を直ちに示すことができる。この特長を上手に生かせば、計画策定のための判断資料の提供という使い方だけでなく、ASMAPを現場に持ち込んで農家の普及啓発ツールとしての利用も期待されている。つまり、合意形成を支援するツールとしての可能性もある。

参考文献

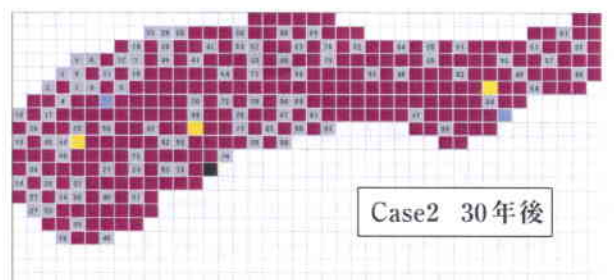
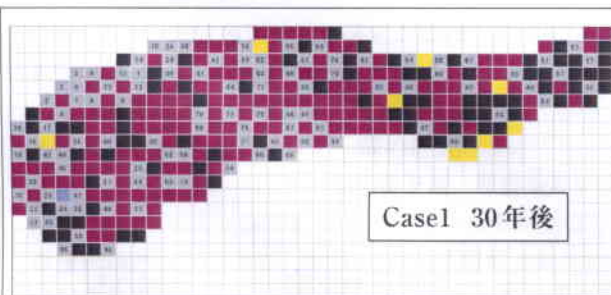
- 1 地域農業を対象にしたモデルであり、計画策定に有益な情報を提供しうるものをここでは「地域農業計画モデル」と呼ぶことにしたい。
- 2 能美誠著、「地域農業計画手法論」、農林統計協会、1999、p. 13
- 3 武藤和夫・森島賢共編著、「地域農業計画の方法と実際」、明文書房、1979
- 4 農林水産省農業研究センター編、「地域農業の計画手法」、農林統計協会、1983
- 5 農業経営計量分析研究会編、「農業生産の計画モデル」、農林統計協会、1985
- 6 下村義人著、「集团的営農の計画と管理」、明文書房、1989
- 7 南石晃明著、「不確実性と地域農業計画—確率的計画法の理論、方法および応用」、大明堂、1991
- 8 竹谷裕之、「System Dynamics手法による土地改良投資の効果計量システムの開発」、名古屋大学農学部食糧生産管理学講座研究報告、19、1981および竹谷裕之、土地改良投資の波及効果とその計測、農業土木学会誌、54 (9)、1986
- 9 門間敏幸、地域農業のシステム・ダイナミクス、前掲農林水産省農業研究センター編(1983) および門間敏幸、「パソコンによる農業生産の計画と予測/応用編」、明文書房、1987
- 10 上路利雄、計量経済モデルによる地域分析、前掲武藤・森島共編著、1979
- 11 高坂祐輔、地域農業振興と公共投資、前掲農林水産省農業研究センター編(1983)
- 12 遠藤和子、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)、2004
- 13 本項は、山下良平・星野敏、地域農業計画シミュレーションシステム『ASMAP』の開発とその可能性、神戸大学大学院自然科学研究科紀要、24 (B)、2006から引用・加筆した。
- 14 山下良平、「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」、神戸大学農学部修士論文、2004のp.9より引用。
- 15 山影進著、「人工社会構築指南 artisocによるマルチエージェント・シミュレーション入門」、書籍工房早山、2007
- 16 この研究は山下良平の卒業研究であり、その内容は農村計画論文集に掲載された。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—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—、農村計画論文集、5巻頁 85-90、2003
- 17 山下良平、星野敏、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)、103-114、2005
- 18 山下良平、星野敏、伊庭治彦、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—、農村計画論文集、7、pp121-126、2005および山下良平、星野敏、営農組合の経営統合に関する効果比較シミュレーション、農林業問題研究、42 (1)、89-94、2006では集落営農組織についての詳しい分析結果を報告している。
- 19 星野敏、山下良平他：平成16年度ほ場整備の総合化手法の効果予測等に関する調査 (1) ほ場整備の総合化手法効果予測報告書、(財)日本水土総合研究所、2005および山下良平、星野敏：事業前効果予測に基づく「圃場整備総合化手法」の有効性評価—秋田県美郷町六郷西部地区を事例として—、農業農村工学会論文集、250 (75 (4))、27-37、2007



MASによるモデル分析の概念



総合化手法・ハード単独・ソフト単独の効果比較 (指標：耕作放棄地)



■: 作付耕地 ■: 休耕地(委託希望) ■: 休耕(貸付希望) ■: 放棄地(荒廃) ■: 農家宅地(数字は農家番号)

農家保全のシミュレーション結果 (左: 単純将来予測 右: 集落営農を組織)