

区画の交換による農地の団地化は可能か？

—シミュレーションによるアプローチ—

有本 寛¹・中嶋 晋作^{2*}・富田 康治³

Farmland Consolidation by Plot Exchange: A Simulation-based Approach

Yutaka ARIMOTO (Institute of Developing Economies-JETRO)

Shinsaku NAKAJIMA (Meiji University) and

Kohji TOMITA (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

This paper quantitatively examines by simulation the extent to which plot exchange can consolidate fragmented farmland. We first show that individual, decentralized, one-to-one plot exchanges, which are currently conducted by some leading farmers, cannot accomplish sufficient consolidation. This is because the occurrence of “double-coincidence-of-wants” that is necessary for voluntary exchange is too rare. We then propose a collective, centralized approach, based on the top trading cycle algorithm by Shapley et al., in which many farmers simultaneously exchange plots. This approach mitigates the restriction of “double-coincidence-of-wants” and can raise the consolidation rate by more than twice than that of the individual-decentralized exchange. We also find that the consolidation rate improves dramatically as more farmers participate in the exchange. Our results suggest that it is essential to attract as many farmers as possible and to conduct collective and centralized allocation of plots in order to attain better consolidation.

Key words : farmland consolidation, plot exchange, top trading cycle algorithm

1. はじめに

日本の農家の土地所有は、狭小な区画を分散して所有する、零細分散錯圃によって特徴づけられる。分散錯圃は機械利用を妨げ、効率的な生産を阻害する(川崎 2009)。生産性の向上と農業生産力の維持強化のためにも、分散した区画を面的にまとめる、農地の団地

化が喫緊の課題となっている(註1)。

しかし、分散錯圃が効率的な生産を妨げるならば、なぜ自発的な区画の交換等によって、農地の団地化が意図したほど進まないのだろうか。本稿は、この問いに対して、「欲求の二重一致」の観点から答えを提示する。例えば、ある農家が、他の農家と区画の交換によって、複数の区画が連坦している団地(母地)に、離れた区画を寄せて団地化(連坦)することを試みるとしよう。このとき、この農家が交換を打診できる相手は、母地に隣接する区画を所有する農家に限定される。農地は動かせない(場所的不動性)からである(生源寺 1998)。加えて、自発的な区画の交換が行われるには、相手も自分の区画との交換を希望しているという「欲求の二重一致」が満たされる必要がある。しかし、ただでさえ取引の候補者が少ないなかで、これが一致する状況は稀であろう。この問題は、各農家

本稿は、3人の著者が均等に貢献した(equally contributed author)。著者名はアルファベット順である。

¹アジア経済研究所

arimotoy@gmail.com

²明治大学

anakajim@meiji.ac.jp

³産業技術総合研究所

k.tomita@aist.go.jp

がそれぞれ、他の農家に対して、一対一の相対交換を分権的に（独立に）持ちかけたとしても、容易には交換が成立しないことを予想させる（註2）。そうであれば、換地や交換分合のような、より根源的な政策介入の検討が必要となるかもしれない。

本稿の目的は、自発的な区画の交換による農地の団地化（註3）がどの程度可能かを、シミュレーションに基づいて定量的に示し、さらにより効率的な農地団地化の方法を提案することである。そこで、まず、区画交換による農地の団地化を、資源配分上の問題として位置づけるために、マッチング理論における非分割財交換問題の枠組みで捉える。次に、その枠組みに基づき、都府県平野部の水田を中心とした農業集落を念頭においたシミュレーションを行う。自由放任下の現実の農村で、実際に行われているであろう状況を再現するため、各農家が相対交換をそれぞれ分権的に交渉する相対・分権的な交換のケースを検討する。そして、欲求が二重一致するケースが少なすぎるため、団地化の進展が困難であることを示す。

以上の否定的な結果を踏まえたうえで、本稿は、より効率的な農地団地化の方法を提案する。Shapley et al. (1974) の top trading cycle (TTC) アルゴリズムを援用し、多数の農家が、交換したい区画を仲介者の元に持ち寄り、集まった区画を一斉に再配分する、集団・集権的な交換である。この方法では、「欲求の二重一致」が直接満たされなくても、交換のサイクルをつくることで交換が可能となる場合があるため、個別・分権的な交換と比べて倍以上の集団化率を実現できることを示す。以上の結果は、集団・集権的な交換を行う機会を設けることで、より効率的な農地の資源配分が実現できることを意味している。

本稿の貢献は、第1に、個別的な区画交換による農地団地化の可能性について、知見を加えることである。今日、大規模な担い手の一部では、個別的に相互の区画を相対で自発的に交換する区画交換・交換耕作が行われている（細山 2004, 2011；安藤 2013）。特に、北海道では以前から農家間の自発的な区画交換・交換耕

作がみられる（田代 1998；芦田 2004）。本稿は、このような交換による農地の団地化には限界があることを、シミュレーションによって定量的に示す。

第2に、農地の集団化率を高める、具体的な方法を提案することである。今日、農地の団地化は主に、ほ場整備による区画の位置や形状の変更に伴って農地を集团的に再配分する換地か、ほ場整備を伴わずに既存の区画を集团的に交換する交換分合（註4）によって実施されている。しかし、換地や交換分合のような、集团的な意思決定をとともう組織的な資源配分は利害が対立しやすく、合意形成は容易ではない（石田ら 1990；能美 1995；中嶋ら 2011；福与 2002）。このため、換地や交換分合を円滑に実現する、より望ましい制度を新たにデザイン・提案することが求められている。Cay et al. (2010) は、換地の定め方について、面談に基づく方法と、最大の従前区画があった圃区に決める機械的な方法を比較し、後者の方が団地数等において高いパフォーマンスを上げることを示している。また、Tanaka (2007) は分散した農地を直接交渉や競りによって団地化するラボ実験の結果を報告している。本稿は、TTC アルゴリズムを援用した一斉交換の方法を提案し、さらにアルゴリズムの細部についても、どれを採用すべきかについてシミュレーションに基づいた指針を提示する。

以下の構成は次の通りである。第2節では、区画交換による農地団地化問題を説明する。第3節では、シミュレーションで用いる交換のアルゴリズムを説明し、第4節で、シミュレーションの設定を提示する。第5節でシミュレーションの結果を報告する。まず、どれぐらいの確率で取引可能な相手が見つかるかを示し、次いで、交換を通してどの程度の集団化率が達成できるかを、シナリオやアルゴリズムを変えながら明らかにする。最後に、第6節で要約と結論を述べる。

2. 区画交換による農地団地化問題

複数の農家からなる農業集落を考える。各農家は、集落内に農地を分散して所有（註5）している。単純

（註1） 農地集積に関する研究動向は、有本ら（2013）を参照。

（註2） 「欲求の二重一致」が取引を困難にすることは農地以外の財においても同様である。一般的には、貨幣が取引を媒介することでこの摩擦が解消されている（Kiyotaki et al. 1993）。

（註3） 農地の団地化には、交換のほかにも所有権や利用権の移転による方法もある。しかし、移転による農地の団地化には、出し手の離農や経営面積の変更に關する意思決定を扱う必要があり、これらは農地の取引とは異なる次元の論点を含む。このため、本稿ではこうした問題を含まない交換に焦点を絞ることにした。

（註4） 換地と交換分合の相違については、森田（1993）、桂（2003）を参照。

（註5） 区画を貸借していたとしても、以下の問題の本質は変わらない。

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	2		1	2	4	4
2	1	1	2				4	4
3	3	4	2				1	3
4								
5					1			
6		3	1				1	
7	2	2				4	3	3
8	2	2					3	3

第1図 分散錯圃の例

註：セルは区画を，セル内の数値はその区画を所有する農家の番号を表す。

化のため，集落内の農地の区画はすべて同面積かつ同質で，各農家はどの区画についても無差別であるとしよう。辺で接した（連坦した）区画のまとまり（註6）を「団地」と呼び，このなかでは連続的な機械作業が可能であるとする。交換前の区画がもっとも密集している，つまり面積が最大の団地（註7）を「母地」と呼ぶ。第1図に，4戸の農家からなる例を示す。第1図では，四隅に各農家の母地がある。農家*i*の母地を構成する区画の集合を M_i で表そう。母地以外の区画を「飛び地」と呼ぼう。飛び地は，場合によっては複数が連坦して（母地ではない）団地を形成していることもある。飛び地のうち，その区画を交換しても，団地を分割しない区画を「可換飛び地」と呼び， z_i で表し，その集合を Z_i とする。また，この条件を「非分割条件」と呼ぼう。第1図では，農家2の飛び地の団地が {C1, C2, C3} にある。このうち，C2を交換すると，この団地を分割してしまう。よって， $Z_2 = \{C1, C3\}$ である。

農地団地化問題における農家の目的は，分散した区画を交換によって団地化し，団地数を減らすことである。その制約として，本稿では以下を考慮する。第1

は，母地は動かさずに維持することである（註8）。第2は，交換できない飛び地は動かさないことである。団地化に寄与しないならば，できる限り区画の位置を変更させないようにするためである。第3は，団地化の過程で団地数を増やさないことである。

以上の目的と制約の下では，各農家は，母地の外周に隣接する区画を飛び地の区画よりも好む，という嗜好を持っているとみなせる。したがって，各農家は， z_i を母地に連坦させる，つまり， z_i と母地の外周に隣接する区画が交換できる場合に限り，交換を依頼したり応諾したりする（註9）。交換を持ちかける農家を「依頼元」，交換を依頼される農家を「依頼先」と呼ぼう。農家*i*の母地 M_i の外周に隣接する区画の集合を M_i' とする。農家*i*は， M_i' の区画であれば，可換飛び地 z_i との交換を了承するため，これを「受諾領域」と呼ぼう。 M_i' に可換飛び地を所有する他の農家を j ，その集合を μ_i で表す。第1図の農家1の場合， $M_1' = \{A3, B3, C1, C2\}$ ， $\mu_1 = \{2, 3, 4\}$ である。

依頼元 i は，依頼先 $j \in \mu_i$ に対して，自身の z_i と依頼先 j の z_j との交換を持ちかける。この z_j は

$$z_j \in M_j' \tag{1}$$

を満たす，つまり依頼元 i の母地に隣接しているものである。

依頼先 j は，依頼元 i の z_i が

$$z_i \in M_j' \tag{2}$$

である，つまり自らの母地の外周の隣接区画であり，依頼元と同様に，交換によって可換飛び地 z_j を母地に寄せられる場合に限り，交換に同意する。以上の(1)(2)が成立することを，区画交換における「欲求の二重一致」と呼ぼう。これが成り立つときは， $j \in \mu_i$ ， $i \in \mu_j$ が成立している。第1図の例では， $\mu_1 = \{2, 3, 4\}$ ， $\mu_2 = \{3\}$ ， $\mu_3 = \{1, 4\}$ ， $\mu_4 = \{1, 2, 3\}$ である。よって， $1 \leftrightarrow 3$ ， $1 \leftrightarrow 4$ ， $3 \leftrightarrow 4$ の間で直接交換が可能である。

(註6) なお，制度上の団地の定義は，点で接する場合も団地とする場合がある（全国農業会議所 2009：p.18）。ただし，点で接する場合も認めると，広域に分散しつつも点では接している，いびつな形の「団地」が形成されるため，本稿ではより直感的に辺で接することを条件とした。

(註7) シミュレーションでは，同面積の場合は無作為に定めた。

(註8) 先に仮定したように，客観的に同質・同面積の区画であっても，各農家は祖先から受け継いできた「家産」であるという意識があり，さらに長年にわたって，土作りや手入れなどの投資をするため，強い執着を持つ傾向がある。こうした農家の主観的な選好と，従前地を継続して所有したいという希望を尊重する現実的な想定を考慮して，本稿では母地に農地を団地化させる問題を考える。実際，換地選定においても，従前地のもっとも密集した位置を中心に団地化させる，母地集団化方式（密集地集団化方式）が一般的である。

(註9) 交換に出す区画を可換飛び地に限定する理由は，非分割条件を満たさない飛び地の交換によって，（飛び地の）団地が分割され，逆に団地数が増えてしまう可能性を排除するためである。

このような区画交換による農地団地化問題は、非分割財交換問題の一種と考えることができる。非分割財交換問題とは、「分割する事が適切でないあるいは不可能な財を、初期保有に配慮しつつ再配分する」(坂井ら 2008 : p.137) 問題である。典型例として、学生寮の部屋を割り当てられた学生が、各自の好みに応じたより望ましい部屋が得られるよう再配分する「住宅市場問題」が知られており、理論的な研究が進んでいる(註 10)。ただし、一般的な住宅市場問題と農地団地化問題には以下の違いがある。第 1 に、住宅市場問題では通常 1 つの非分割財しか消費しない設定を分析するのに対して、農地団地化問題は複数単位の財(区画)を扱う。第 2 に、連担することに意味があるため、財の間に補完性(外部性)がある(註 11)。第 3 に、母地が交換によって拡張するたびに母地に隣接する区画も変わるため、区画に対する選好が動的に変化する。

3. 区画交換のアルゴリズム

本節では、区画交換による農地の団地化をシミュレートするためのアルゴリズムを 2 つ提示する。第 1 は、実際の農村でみられるであろう状況の再現を目的としたものであり、団地化を希望する農家が、他の農家に対一の相対交換を、それぞれ分権的に持ちかけるケースである。第 2 は、できるだけ団地化の成果を高める方法の提案とその成果の検証を目的としたものであり、団地化を希望する農家が、交換してもよい区画を農協等の仲介者の下に持ち寄り、それらを一齐に再配分するケースである。

1) 相対交換方式

各農家が相対交換を、それぞれ分権的に持ちかけるケースを、相対交換方式と呼ぼう。このアルゴリズムの概略は次の通りである：

1. 依頼を持ちかける農家(依頼元)の順序を適当に定める(後述)。
2. ステップ 1 で定めた順序に基づき、依頼元 i を選ぶ。
3. 各農家 k について、母地 M_k 、受諾領域 M'_k 、可換飛び地の集合 Z_k 、および M'_k 内に区画を持つ

依頼先 j の集合 μ_k を特定・更新する。

4. 依頼元 i は、一定のルール(後述)に基づいて、交換する区画の組み合わせ (z_i, a_j) 、 $z_i \in Z_i$ 、 $a_j \in M'_j$ の優先順位を決める。
5. 依頼元 i は、ステップ 4 のリストの先頭にある組み合わせ (z_i, a_j) の区画 a_j の所有者 j に交換を打診する。依頼先 j は、 $z_i \in M'_j$ ならば交換を受諾するので z_i と a_j を交換し、ステップ 3 に戻る。依頼先 j が受諾しなければ、依頼元 i はステップ 4 のリストで次の順位の区画の交換を打診する。受諾する依頼先がいなければ、ステップ 2 に戻り、依頼元リストの次の農家を選ぶ。
6. すべての農家が 2~5 のステップを終えても、その過程で新たに交換可能な区画が生じることがあるため、二巡目、三巡目…の交換を行い、交換可能な区画が枯渇したところで、プロセスを終了する。

このうち、ステップ 1, 3, 4 について、複数の方法が考えられる。このため、シミュレーションでは、第 1 表に要約した複数のバリエーションを試す。バリエーションのポイントは 3 点ある。

第 1 は、依頼元の順序についてである(ステップ 1)。現実には、大規模農家ほど農地団地化のインセンティブが強いと予想されるため、規模が大きい順に交換を持ちかける場合を試行する。また、これと対比させるために、経営規模が小さい農家順も試す。

第 2 は、交換可能な区画の定義である(ステップ 3)。まず、可換飛び地のみ交換の対象とする方式を試す。次に、可換飛び地に加えて、既に交換を終え、母地に連担して拡張された区画(「母地拡張区画」と呼ぶ)の交換を許す方法も実行する。前者では、飛び地を母地に寄せられるという利益がある。しかし、後者では、単に(拡張された)母地の形状が変わるだけで、飛び地を寄せることはできないため、特段の利益はない。しかし、母地拡張区画を交換の媒介として提供することで、他の農家の団地化を助けることができる(註 12)。後者は、このような慈善的な交換を許すものである。

(註 10) 日本語の解説は、坂井ら(2008)および坂井(2010)を参照。

(註 11) 以上の 2 点の特徴を組み込んだ研究として、Konishi et al. (2001: Section 5) は複数単位の財の設定を、Shapley et al. (1974: Section 8) は複数単位で補完性がある設定を扱っている。

(註 12) 母地拡張区画の交換を許すバリエーションでも、依頼元は必ず飛び地を交換することとした。また、依頼先を優先的に決めるバリエーションでは、依頼先の交換可能な区画が飛び地なのか母地拡張区画なのかにかかわらず依頼先を決めたうえで、まずは飛び地の交換を優先し、交換できる飛び地がない場合に限り、母地拡張区画を交換することとした。

第1表 アルゴリズムのバリエーション

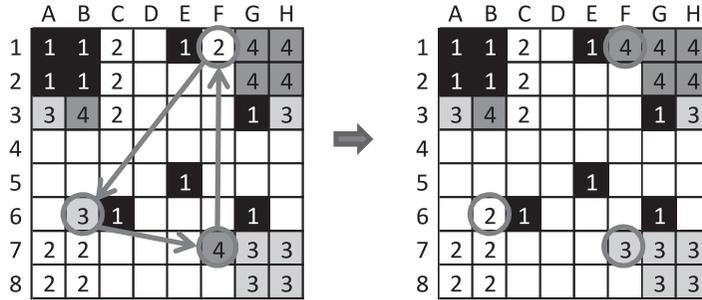
	相対交換方式			サイクル方式		
	交換可能な区画	依頼元順序	依頼先・飛び地	交換可能な区画	サイクル長	優先順序
1	可換飛び地	依頼元 (大)	依頼先 (大)	可換飛び地	サイクル (短)	大規模
2	可換飛び地	依頼元 (大)	依頼先 (小)	可換飛び地	サイクル (短)	小規模
3	可換飛び地	依頼元 (大)	飛び地 (遠)	可換飛び地	サイクル (長)	大規模
4	可換飛び地	依頼元 (大)	飛び地 (近)	可換飛び地	サイクル (長)	小規模
5	可換飛び地	依頼元 (小)	依頼先 (大)	可換飛び地+拡張母地	サイクル (短)	大規模
6	可換飛び地	依頼元 (小)	依頼先 (小)	可換飛び地+拡張母地	サイクル (短)	小規模
7	可換飛び地	依頼元 (小)	飛び地 (遠)	可換飛び地+拡張母地	サイクル (長)	大規模
8	可換飛び地	依頼元 (小)	飛び地 (近)	可換飛び地+拡張母地	サイクル (長)	小規模
9	可換飛び地+拡張母地	依頼元 (大)	依頼先 (大)			
10	可換飛び地+拡張母地	依頼元 (大)	依頼先 (小)			
11	可換飛び地+拡張母地	依頼元 (大)	飛び地 (遠)			
12	可換飛び地+拡張母地	依頼元 (大)	飛び地 (近)			
13	可換飛び地+拡張母地	依頼元 (小)	依頼先 (大)			
14	可換飛び地+拡張母地	依頼元 (小)	依頼先 (小)			
15	可換飛び地+拡張母地	依頼元 (小)	飛び地 (遠)			
16	可換飛び地+拡張母地	依頼元 (小)	飛び地 (近)			

第3は、誰とどの区画を交換するかである（ステップ4）。これには、（依頼元が）寄せる飛び地から決める、交換する依頼先から決める、という2通りのアプローチを考える。前者では、依頼元の飛び地が遠い順、飛び地（が形成する団地）が小さい順の2通りを試す。遠い区画から寄せれば通作距離がより短くなりやすいだろう。一方、小さい団地を形成する飛び地から寄せれば、団地数をより少なくしやすく、より高い集団化率を達成しやすいと考えられる。ただし、これらの方法では、1つの区画の交渉ごとに交渉相手が変わる可能性がある。しかし、現実にはひとたび一人の相手と交渉を始めたら、その相手が持つすべての区画の交換を打診するだろう。そこで、区画ではなく依頼先を優先するバリエーションを試す。どの農家から交渉するかは、親密さなどに規定されると思われるが、シミュレーションでは依頼先の経営規模が大きい順、小さい順を試す（註13）。

2) サイクル方式

相対交換方式の問題は、依頼元と依頼先が直接、「欲求の二重一致」を満たす必要があるため、取引機会が極めて制約されてしまうことである。例えば、第1図の例では、農家2はどの農家とも二重一致が成立しないため、交換ができない。しかし、3戸以上の農家が集団的に一斉交換すれば、交換ができる場合がある。具体的な方法は、非分割財交換問題におけるTTCアルゴリズム（Shapley et al. 1974）で利用されているアイデアを援用すればよい。これは、各自が、もっとも欲しい区画を所有する農家を指差し、サイクルができればそのなかで交換を行うというものである。第1図の例では、農家2は農家3の区画B6を、農家3は農家4の区画F7を、農家4は農家2の区画F1を欲しいと思っている。各農家が欲しい区画の所有者を指差すと、2→3→4→2というサイクルができていく。このサイクルのなかで、農家2と3の間で

（註13） 同順位の場合は、次のように辞書的に処理した。依頼元が寄せる飛び地から決める場合、遠い飛び地順ならば、距離が同位であれば、飛び地（が形成する団地）が最小の飛び地を選び、小さい飛び地順ならば、大きさが同位であれば遠い飛び地を選んだ。こうして選んだ飛び地を交換可能な依頼先が複数いる場合は、規模が小さい依頼先を選んだ。依頼先の交換する区画は、依頼元の区画の選択と同様のルール（遠い飛び地>小さい飛び地の順、または、小さい飛び地>遠い飛び地順）に基づいて決めた。一方、依頼先で選ぶ場合、まず規模順で依頼先を決める。決めた依頼先について、交換可能な区画が複数ある場合は、依頼先、依頼元ともに、小さい団地（同位であれば遠い飛び地）の順で交換する区画を選んだ。



第2図 サイクル方式の例 (2→3→4→2)

1 → 2 → 3 → 1	1 → 3 → 4 → 1	1 → 4 → 3 → 1
1 → 2 → 3 → 4 → 1	1 → 4 → 1	2 → 3 → 4 → 2
1 → 3 → 1	1 → 4 → 2 → 3 → 1	3 → 4 → 3

第3図 交換可能なサイクル

F1 ↔ B6 を交換し、次に農家3と農家4の間で F1 ↔ F7 を交換することで、それぞれ望む区画を得られる(第2図)。一般的に、欲しい区画の所有者を指差した結果、サイクルができれば、交換が可能である。第2図の例では、第3図で示す9通りのサイクルをつくることのできる。要点は、多数の農家が区画を持ち寄ることで交換可能な区画が増えること、多数の農家が一齐に交換することから、「欲求の二重一致」を直接満たすという制約を緩和できることである。

この利点を活かすため、各農家が農協等の仲介者に、交換に出す飛び地と農地を団地化する母地を申告し、仲介者が集まった飛び地を配分することを考える。配分とは、各農家が所有している各区画に新たな所有者を割り当てることである。相対交換方式では、農家が相対交換をそれぞれ(個別に)分権的に行うのに対して、こちらでは複数の農家が集団的に、仲介者の下で集権的な配分を行うという対比関係にある。

次の課題は、どのような配分をどのような方法(アルゴリズム)で行うかである。目指す配分は、個人合理性(参加者の誰もが、再配分前の区画の保有状況と同等以上に望ましい配分を得ていること)と、効率性(パレート改善する配分が存在しないこと)を最低限満たすことが望ましい。個人が1つの非分割財を交換

する住宅市場問題では、個人合理性と効率性に加えて、結託による逸脱にも頑健な強コア配分が一意に存在し(註14)、TTCアルゴリズムによってそれを配分できる。しかし、農家が複数単位の非分割財を消費する農地団地化問題のような設定では、コアの存在が常には保証されない(Shapley et al. 1974: Section 8; Konishi et al. 2001: Section 5)。さらに農地集団化問題では、財の間に(連担による)補完性があること、区画に対する選好が動的に変化すること、また、母地に隣接する区画はどれも同等に好ましいと想定しており、選好が無差別な区画が複数あることが、問題を複雑にしている。そして、管見の限りでは、このような問題を解く望ましいアルゴリズムの存在は知られていない。

そこで、本稿ではTTCアルゴリズムにおけるサイクル形成のアイデアを援用した逐次的なアルゴリズムを考える。これは、持ち寄った区画のなかから、先の例のように、複数の農家がそれぞれ1区画ずつ参加する交換のサイクルをつくり、再配分を繰り返していくものである(註15)。これをサイクル方式と呼ぼう。アルゴリズムの概略は、次の通りである：

1. 各農家 k について、母地 M_k 、受諾領域 M'_k 、可換飛び地の集合 Z_k 、および M'_k 内に区画を持つ依頼先 j の集合 μ_k を特定・更新する。

(註14) 強コア配分はさらに耐戦略性も満たす。

(註15) 集落として集団化率をもっとも高めるためには、このような逐次的なアルゴリズムではなく、持ち寄った交換可能な区画を一齐に一度で配分する方が望ましい。ただし、そのように最適な配分を探索することが、計算上困難であったため、次善策として逐次的アルゴリズムによるシミュレーションを行った。

第2表 参加シナリオ

参加率	参加パターン	面積順位 (小 ← 大)																													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
100%	均等	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
75%	均等	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0
75%	大規模	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
50%	均等	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	
50%	大規模	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
25%	均等	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	
25%	大規模	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	

注：面積順位は小さいほど面積が小さい農家であることを示す。「1」は参加、「0」は不参加を表す。

2. μ_k に基づきサイクルのリストをつくる。具体的には、TTC アルゴリズムに習い、各農家に交換したい区画を持つすべての依頼先を指差してもらい、サイクルをつくる。
3. 作成したサイクルのリストのなかから、一定のルール（後述）に基づき、1つを選ぶ。選ばれたサイクルに所属する農家は、指差された農家に飛び地を差し出し、指差した農家の区画を受け取る。そして、ステップ1に戻る。
4. 交換可能なサイクルが枯渇したところで、プロセスを終了する。

なお、実際には、各農家が指差しをする必要はなく、交換に出す飛び地と団地化する母地を最初に申告してもらえば、後は仲介者が機械的にサイクルをつくることができる。

シミュレーションでは、このうちステップ1と3について、異なるバリエーションを試す。ポイントは2点である。第1は、交換可能な区画の定義（ステップ1）である。相対交換方式と同様に、可換飛び地のみ、可換飛び地+母地拡張区画、の2通りを実行する。第2は、サイクルの選び方（ステップ3）に関わる点である。これは、サイクルの長さでサイクルに含まれる農家の規模で選ぶこととした。すなわち、まずサイクルが長い（短い）ものを優先し、次に、同じ長さであれば、そのなかからできるだけ規模が大きい（小さい）農家を優先的に含むサイクルを選んだ。例えば、

第1図の例で選ばれるサイクルは、
 サイクル（短）×小規模優先：1→3→1
 サイクル（短）×大規模優先：3→4→3
 サイクル（長）×小規模優先：1→2→3→4→1
 サイクル（長）×大規模優先：1→4→2→3→1
 となる（註16）。長いサイクルを優先的に選ぶと、より早く多くの農家の団地化を進めることができる。一方、サイクルに含まれる農家の優先順序については、小規模農家を優先させた方が、集団化率が高まると予想される。大規模農家はより広い M_k' と多くの飛び地を持つため、サイクルに入りやすく、後回しにしても交換しやすいのに対して、小規模農家はサイクルに入りにくいため、サイクルに入った時点で交換してしまう方がよいとも考えられるからである。

4. シミュレーションの設定

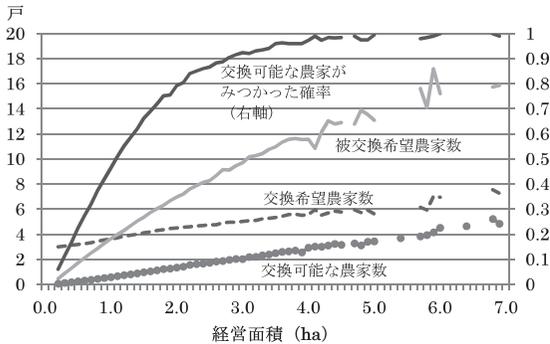
1) 設定

交換を実施する設定として、農家戸数30戸、総面積30ha、総区画数300区画（1区画0.1ha）の農業集落を想定した（註17）。これは2000年『世界農林業センサス』の都府県・平地農業地域の1農業集落当たり平均の数値（田面積31.4ha、農家戸数29.2戸）に基づいている。

各農家の所有面積は、平均1の指数分布から無作為に100通り生成した。現実との適合を確認するため、2000年および2010年の『世界農林業センサス』より

（註16） この例のサイクル（長）のケースでは、すべての農家が参加するため、小規模優先も大規模優先も同じサイクルになっている。ただし、一般的には、同じサイクルの長さでも、そのサイクルに含まれる農家は異なるので、規模による優先のつけかたによって異なるサイクルが選ばれる。

（註17） 農業集落を交換の範囲としたのは、実態として、農業集落を範囲として換地選定や交換分合が行われる場合が多く（所有地が他集落にある出作の場合、その土地を所有者の居住集落の農地に寄せて固め、集落区界を切り直し、出入作関係を整理する事例が多い）、区画交換が行われるとすれば、農業集落を範囲とすることが妥当と判断したためである。



第4図 交換可能な相手の戸数と確率

下、交換希望農家数)と、自分と交換したいと思っている農家の数(自分の飛び地に母地が隣接している農家。以下、被交換希望農家数)に依存する。

10,000通りの面積×配置パターンの初期状態において、これらの戸数、および交換可能な農家が少なくとも1戸みつかった確率を第4図に示す。農家ごとのそれぞれの確率を、経営面積ごとに平均した数値である。本稿の設定では、所有面積1haの農家は、平均すると9つの団地に分散して区画を所有していた。集落の農家戸数30戸に対し、交換希望農家数は3.6戸、被交換希望農家数も3.6戸(12.6%)あった。このうち両者の希望が一致し、実際に交換が可能な戸数は0.6戸であり、交換可能な農家が少なくとも1戸みつかった確率は46%だった。よって、平均的な農業集落に住む、1haの農家であれば、約50%の確率で、2ha以上であれば8割の確率で、少なくとも1区画は交換ができそうである。つまり、ある程度の規模であれば、かなり高い確率で交換可能な相手が少なくとも1戸はみつかる。ただし、結果として団地化が達成されるには、このようなマッチングが連続して多数、必要となる。そこで次に、交換の帰結としての集団化率について検討する。

2) 参加率別の集団化率

第3表に、交換後の集落レベルの集団化率を示す。参加シナリオごとの結果をアルゴリズムのバリエーション別に示している。数値は、各参加シナリオ×バリエーションを、10,000通りの面積×配置パターンに対して適用した結果の平均である。

まず、各規模の農家が均等に参加するシナリオの結果(第3表パネルA)をみると、集落の25%しか交換に参加しないシナリオでは、バリエーションにかかわらず、集団化率は1%未満である。つまり、集落の

1/4の農家の参加では、「欲求の二重一致」を満たすマッチングがごく僅かしかみつからない。50%が参加するシナリオでも、相対交換方式では4%弱、サイクル方式でも9~11%の集団化率に留まる。参加率が100%になると、相対交換方式では27~39%、サイクル方式では62~97%の集団化率を達成できた。これに対して大規模層が偏って参加するシナリオの結果(パネルB)をみると、同じ参加率でも大規模農家が参加するほど成果がよいことが確認できる。

以上の結果より、成果を上げるには、できるだけ多くの参加者を集めること、参加者が同数であれば、なるべく大規模の農家の参加を取り付けることが重要であることがわかる。これは、交換対象となる区画数が多いほど、「欲求の二重一致」が満たされやすくなることを反映している。

3) バリエーション別の効果

シミュレーションでは、複数のアルゴリズムのバリエーションを試したため、回帰分析で各バリエーションが集団化率に与える効果を定量的に検証する。回帰式は、

$$y_{lpr} = \alpha + \beta \text{Participation}_p + \gamma \text{Variation}_v + \delta \text{Block}_l + \sigma \text{Gini}_l + \epsilon_{lpr}$$

である。ここで下付の*l*は面積×配置パターン、*p*は参加シナリオ、*v*はアルゴリズムのバリエーションを表す。被説明変数*y_{lpr}*は、集団化率である。説明変数のParticipationは、参加シナリオを表すダミー変数群であり、推定では参加率と参加パターンのダミー変数とその交差項を入れている。Variationは、アルゴリズムのバリエーションを表すダミー変数および交差項群である。また、従前の区画の分散度および農家の所有面積分布(偏り)によって、成果にどのような違いが出るかをみるために、従前の総団地数(Block)および所有面積のジニ係数(Gini)を説明変数に加える。シミュレーションでは、従前の面積×配置パターンそれぞれに対して、異なるバリエーションによる交換を行う。被説明変数は、従前の団地数に対する集団化率であるため、1つの面積×配置パターンを固定したうえで、バリエーション間で成果を比較していることに留意されたい。

第4表の回帰結果の主要な結論のみ要約すると、いずれの方式においても、もっとも大きく集団化率の改善に寄与したのは、母地拡張区画の交換を許すバリエーションであり、主効果をみると、相対交換方式では4.2ポイント、サイクル方式で14.4ポイント、集団化率が上乘せされる。これは、母地拡張区画も交換の対象とすることで、交換可能な区画が増えたからであ

第4表 集団化率の決定要因 (OLS 推定)

相対交換方式		サイクル方式	
参加率 (参照カテゴリ: 参加率 25%)		参加率 (参照カテゴリ: 参加率 25%)	
参加率 50%	0.0341*** (0.000572)	参加率 50%	0.0960*** (0.000598)
参加率 70%	0.0634*** (0.000662)	参加率 70%	0.302*** (0.00106)
参加率 100%	0.328*** (0.00118)	参加率 100%	0.809*** (0.000643)
参加パターン (参照カテゴリ: 均等参加)		参加パターン (参照カテゴリ: 均等参加)	
大規模偏重	0.0811*** (0.000700)	大規模偏重	0.172*** (0.000981)
参加率 50% × 大規模偏重	0.105*** (0.00130)	参加率 50% × 大規模偏重	0.313*** (0.00154)
参加率 75% × 大規模偏重	0.166*** (0.00142)	参加率 75% × 大規模偏重	0.302*** (0.00157)
母地拡張区画の交換 (参照カテゴリ: 交換不可)		母地拡張区画の交換 (参照カテゴリ: 交換不可)	
交換可	0.0420*** (0.000290)	交換可	0.144*** (0.000567)
依頼元 (参照カテゴリ: 依頼元 (小))		サイクル (参照カテゴリ: サイクル (短))	
依頼元 (大)	-0.000695*** (0.000163)	サイクル (長)	0.0435*** (0.000279)
その他 (参照カテゴリ: 依頼先 (大))		優先順序 (参照カテゴリ: 小規模順)	
依頼先 (小)	0.000451*** (0.000122)	大規模順	-0.00207*** (0.000230)
飛び地 (遠)	-0.00132*** (0.000119)		
飛び地 (小)	8.58e-05 (0.000100)		
交差項		交差項	
交換 (可) × 依頼元 (大)	0.000223 (0.000234)	交換 (可) × サイクル (長)	-0.0381*** (0.000317)
交換 (可) × 依頼先 (小)	-0.000568*** (0.000196)	交換 (可) × 大規模順	0.00511*** (0.000277)
交換 (可) × 飛び地 (遠)	-0.00114*** (0.000208)	サイクル (長) × 大規模順	0.00207*** (0.000297)
交換 (可) × 飛び地 (小)	-0.00104*** (0.000198)	交換 (可) × サイクル (長) × 大規模順	-0.000512 (0.000361)
依頼元 (大) × 依頼先 (小)	8.78e-05 (0.000184)		
依頼元 (大) × 飛び地 (遠)	6.68e-05 (0.000168)		
依頼元 (大) × 飛び地 (小)	-0.000355** (0.000155)		
交換 (可) × 依頼元 (大) × 依頼先 (小)	0.000186 (0.000283)		
交換 (可) × 依頼元 (大) × 飛び地 (遠)	0.000541* (0.000292)		
交換 (可) × 依頼元 (大) × 飛び地 (小)	0.000567** (0.000282)		
初期団地数	-0.000473*** (5.34e-05)	初期団地数	0.000437*** (5.22e-05)
ジニ係数	0.709*** (0.00865)	ジニ係数	0.374*** (0.00852)
定数項	-0.208*** (0.0165)	定数項	-0.363*** (0.0162)
観察数	1,120,000	観察数	560,000
修正済み R ²	0.672	修正済み R ²	0.896

註: *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$. 括弧内は、面積 × 配置パターンでクラスターされた頑健誤差である。

る。一方、サイクル方式では、長いサイクルを選ぶことで、主効果では4.4ポイントの上乗せが得られた。長いサイクルを優先的に選ぶことで、より早く多くの農家の団地化を進めることができたからだと考えられる。これら以外のバリエーションについては、主効果および交差効果のいずれも1ポイント未満の微小な効果に留まった。したがって、母地拡張区画の交換を許すこと、サイクル方式では長いサイクルを優先すること以外は、アルゴリズムの細部にこだわる必要はない。例えば、相対交換方式では、小さい飛び地（の団地）から寄せる必要はなく、相手ごとにまとめて交換を進めても結果はあまり変わらない。

その他、初期状態の影響については、団地数が多い（より分散している）ほど集団化率が悪くなる。例えば、団地数が1戸につき1つ多い（全体で30団地多い）と集団化率が1.4ポイント悪化する計算になる。一方、所有面積の分布が偏っているほど、団地化しやすい。これは、1戸の大規模農家が多く区画を所有し、その農家が交換に参加すれば、交換可能な区画が増えるからであろう。

4) 農家レベルの結果

農家レベルの結果も概観しておこう。特に、農家の規模によって、集団化率に偏りが生じるのかどうかに関心を払う。農家の参加インセンティブを左右するかもしれないからである。例えば、規模によらず、均一に団地化が達成されやすい方法の方が、参加を呼びかけやすいかもしれない。あるいは、大規模層の集団化率が特によいアルゴリズムを採用して、この層の参加を促すという考え方もできる。以下では、農家の規模を反映する指標として、「従前の団地数-1」で定義される「削減可能団地数」を用い、 λ で表記する。 λ は、団地化によって削減可能な団地数の最大値であり、農家レベルの集団化率の分母である。

第5図に、削減可能団地数（ λ ）別の農家レベルの平均集団化率を示す。参加率100%のシナリオの結果である。まず、相対交換方式をみると、集団化率は、 λ に対してほぼ線形に右上がりとなっている（ただし、 λ が37を超えるような大規模農家の結果は、観察数が少ないため安定していない）。この傾向はバリエーションによらない。よって、相対交換方式では、規模が大きく、分散した区画が多い農家ほど、交換による団地化の利益を得やすいといえる。

一方、サイクル方式では、母地拡張区画の交換の可否、およびサイクルの短長によって異なる結果が得られた。まず、母地拡張区画の交換を許すと、 λ にかかわらず、ほぼ一律に9割以上の高い集団化率を達成で

きる。母地拡張区画の交換を許さない場合は、サイクルの選び方によって結果が異なる。短いサイクルは大規模層に有利であり、長いサイクルは小規模層に有利である。この傾向は、母地拡張区画の交換を許すケースでも同様である。

最後に、バリエーションごとに、集団化率の標準偏差を計算した（第5表）。相対交換方式で母地拡張区画の交換を許さない場合は、バリエーションにかかわらず、0.24~0.25の範囲内にあり、大差ない。母地拡張区画の交換を許すと、標準偏差も0.297とやや高くなった。一方、サイクル方式では、母地拡張区画の交換不可の場合、サイクル（短）で0.324~0.348、サイクル（長）で0.242~0.245と、ばらつきが大きい。逆に、母地拡張区画の交換を許すと、規模にかかわらず均等に高い集団化率を達成できるため、結果のばらつきも小さくなった（サイクル（短）で0.132~0.145、サイクル（長）で0.105~0.108）。

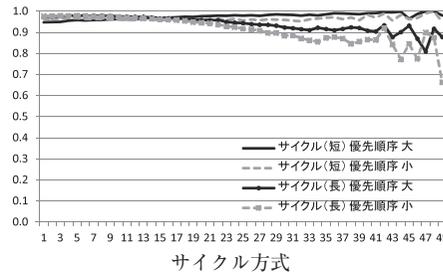
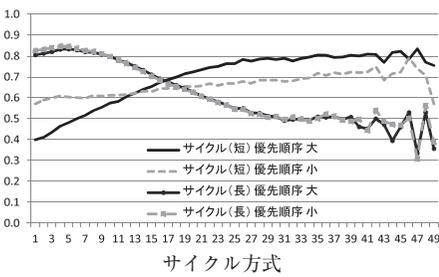
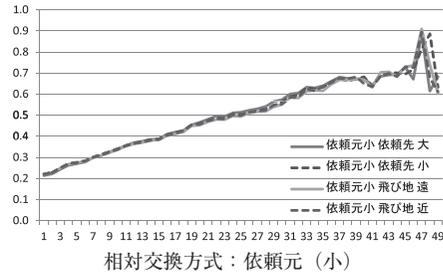
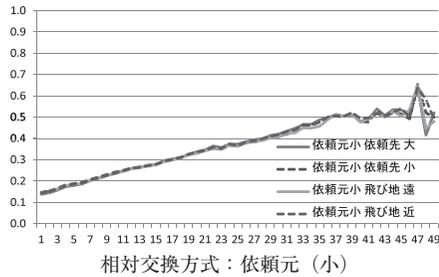
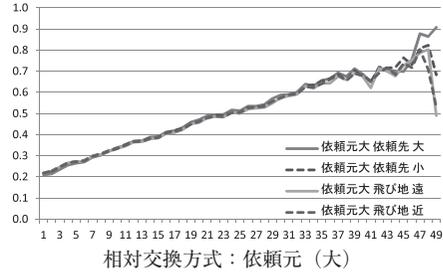
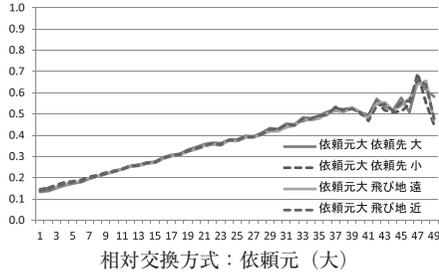
以上の結果より、サイクル方式の下で、規模によらず均等な団地化の利益を追求するならば、母地拡張区画の交換を許し、長いサイクルを選ぶアルゴリズムが望ましいといえる。ただし、大規模層の集団化率がやや落ちるので、あえてこの層の団地化を強く推進したいならば、短いサイクルを選ぶことが推奨される。

6. 結 論

本稿は、区画交換による農地団地化問題を、非分割財交換問題の1つと位置づけたうえで、実際にどの程度団地化が可能かを、シミュレーションによって検証した。

シミュレーションの結果、現状のように、農家が相対・分権的な交換を行う場合、2ha以上の農家であれば、8割以上の確率で「欲求の二重一致」を直接満たすマッチングが、少なくとも1つみつかった。ただし、団地化にはこのようなマッチングが多数必要であり、相対交換では団地化の進展が困難であることがわかった。すなわち、1/4の農家が交換に参加したとしても、ごく少数のマッチングしかみつからず、結果的な集団化率はほぼゼロであり、半数の農家が参加したとしても4%に留まった。全員の参加が得られれば、（母地拡張区画の交換を許す）もっとも条件の緩いケースで約4割の集団化率となった。

そこで、本稿では、より集団化率を高めるため、複数の農家が交換したい区画を持ち寄り、集まった区画を一斉交換する、集団・集権的な方法を提案した。母地拡張区画の交換を許すケースでも、参加率が1/4と低ければ集団化率は1%未満であるものの、参加率が



交換可能な区画：可換飛び地

交換可能な区画：可換飛び地+母地拡張区画

第5図 削減可能団地数別の集団化率（農家レベル）

註：横軸は、削減可能団地数（ n ）である。

上がるほど集団化率は飛躍的に高まり、半数の農家が参加すれば約1割、3/4であれば約4割、全員参加であれば95%以上の団地化が実現できた。これは、多数の農家で交換のサイクルをつくり、それを一斉交換することで、連担する区画を他の農家から得られることが保証されるため、欲求が二重一致していない別の農家に対しても区画を放出することに同意できるようになるからである。

以上の結果によれば、区画交換による農地の団地化を進めるためには、できるだけ多くの農家の参加を募

り、集団・集権的な配分を行う機会を積極的に設けることが政策的に推奨される（註18）。例えば、農協や農地保有合理化法人等の仲介者が、交換を希望する農家を募って一斉交換を行ったり、区画の交換を希望する農家が他の農家にも広く参加を呼びかけたりすることを推奨するといった方策が考えられる。

ところで、本稿は、シミュレーションによって農地団地化問題を検討したが、以下の点に留保を要する。第1に、本稿のシミュレーションでは、飛び地を必ず母地に寄せるアルゴリズムを検討したが、母地以外の

（註18）これは近世に、一部地域で定期的に行われていた割地と類似している（渡辺ら編2002）。ただし、割地の主な目的は年貢負担やリスクの均等化とされている。

第5表 農家レベル集団化率のアルゴリズム別の標準偏差（参加率100%）

	相対交換方式								サイクル方式			
	依頼元大				依頼元小				サイクル（短）		サイクル（長）	
	依頼先		飛び地		依頼先		飛び地		優先順序		優先順序	
	大	小	遠	近	大	小	遠	近	大	小	大	小
可換飛び地	0.244	0.247	0.245	0.245	0.246	0.248	0.246	0.247	0.348	0.324	0.245	0.242
可換飛び地+母地 拡張区画	0.295	0.297	0.295	0.296	0.297	0.297	0.296	0.297	0.145	0.132	0.105	0.108

団地に寄せることで、団地数をより減らすことができる可能性がある。第2に、シミュレーションではすべての区画を同等の財とみなしたが、現実には面積や質が異なるため、交換の交渉は容易ではないだろう。現実的な対策としては、区画間の異同をひとまず無視して再配分を決めた後、換地や交換分合における清算金制度のように、事前と事後の配分の変化を金銭清算することが考えられる。

本稿では、区画交換による農地団地化問題を非分割財交換問題の1つと位置づけた。この問題は、よく知られている住宅市場問題と異なり、複数単位で補完性があり、無差別な選好を許し、かつ選好が動的に変わるといった複雑さを持つ。このようなクラスの非分割財交換問題の理論的な特徴づけや、より望ましい配分アルゴリズムの開発も残された課題である。

[付記] 本稿の執筆にあたって、宮下和雄（産業技術総合研究所）、尾川僚（広島大学）、生源寺真一（名古屋大学）各氏との議論やコメントから有益な示唆やヒントを得た。記して感謝したい。なお、本研究は、科学研究費補助金若手研究（B）「農地取引をめぐる政策評価とメカニズム・デザイン」（代表者：有本寛、研究課題番号：22730187）、2014年度稲盛財団研究助成「農業基盤整備事業の政策評価と制度デザイン」（代表者：中嶋晋作）の成果の一部である。

引用文献

安藤光義編（2013）『大規模経営の成立条件—日本型農場制農業のダイナミズムと苦悩—』農山漁村文化協会。
 有本寛・中嶋晋作（2013）「農地集積と農地市場」『農業経済研究』, 85(2), 70-79。
 芦田敏文（2004）「北海道における大規模水田経営の展開方向—農地市場構造の相違を視点として—」『北海道大学大学院農学研究科邦文紀要』, 26(1), 1-78。
 Cay, T., Ayten, T. and Iscan, F. (2010) Effects of Different Land Reallocation Models on the Success of Land Consoli-

dation Projects: Social and Economic Approaches, *Land Use Policy*, 27(2), 262-269。
 福与徳文（2002）「北海道の草地酪農地帯における離農跡地再編型交換分合の成立条件と制度の改善方向」『農村計画学会誌』, 21(2), 163-174。
 細山隆夫（2004）『農地賃貸借進展の地域差と大規模借地経営の展開』農林統計協会。
 細山隆夫（2011）「大区画圃場整備地域における大規模借地経営の存立状況と農地団地化—北陸・新潟県上越市三和区を対象に—」『農業経営研究』, 49(3), 12-22。
 石田正昭・木南章（1990）「換地紛争の社会経済学的分析—ある集落の経験—」『農業経済研究』, 61(4), 204-217。
 桂明宏（2003）「交換分合事業と農民層分解—北海道における交換分合事業を事例として—」『農林業問題研究』, 39(1), 98-102。
 川崎賢太郎（2009）「耕地分散が米生産費および要素投入に及ぼす影響」『農業経済研究』, 81(1), 14-24。
 Kiyotaki, N. and Wright, R. (1993) A Search-Theoretic Approach to Monetary Economics, *American Economic Review*, 83(1), 63-77。
 Konishi, H., Quint, T. and Wako, J. (2001) On the Shapley-Scarf Economy: The Case of Multiple Types of Indivisible Goods, *Journal of Mathematical Economics*, 35(1), 1-15。
 森田勝（1993）「土地改良法による交換分合の法構造」『農政調査時報』, 442, 19-27。
 能美誠（1995）「大区画圃場整備事業に伴う換地の合意形成とその要因」『農村計画学会誌』, 14(1), 20-30。
 中嶋晋作・有本寛（2011）「換地選定をめぐる利害対立と合意形成—新潟県新発田北部地区の事例—」『農村計画学会誌』, 30(1), 65-73。
 坂井豊貴・藤中裕二・若山琢磨（2008）『メカニズムデザイン—資源配分制度の設計とインセンティブ—』ミネルヴァ書房。
 坂井豊貴（2010）『マーケットデザイン入門—オークションとマッチングの経済学—』ミネルヴァ書房。
 Shapley, L. and Scarf, H. (1974) On Cores and Indivisibility, *Journal of Mathematical Economics*, 1(1), 23-37。
 島本富夫（1992）「農業構造の変化に対応した交換分合の課題」『農政調査時報』, 434, 2-10。
 生源寺真一（1998）「農地取引における市場と組織」『現代農業政策の経済分析』東京大学出版会, 35-45。

Tanaka, T. (2007) Resource Allocation with Spatial Externalities: Experiments on Land Consolidation, *The B. E. Journal of Economic Analysis & Policy*, 7(1), Article 7.
田代洋一 (1998) 「構造政策の課題」『食料主権—21世紀の農政課題—』日本経済評論社, 233-274.

渡辺尚志・五味文彦編 (2002) 『土地所有史』山川出版社.
全国農業会議所 (2009) 『最新版・交換分合の手引第2版』
全国農業会議所.
(2014年3月13日受付, 2014年9月26日受理)

要旨：本稿は、区画交換による農地の団地化がどの程度可能かを、シミュレーションによって検証する。まず、現在一部の農家で行われている個別・分権的な相対交換では、自発的な交換に必要な「欲求の二重一致」が少なすぎるため、団地化の進展が困難であることを示す。次に、Shapley らの top trading cycle アルゴリズムを援用し、複数の農家が区画を一斉交換する集団・集権的な方法を提案する。これは、「欲求の二重一致」の制約を緩和するため、個別・分権的な交換に比べて倍以上の集団化率を実現できた。また、より多くの農家が交換に参加するほど、集団化率も劇的に高まった。多くの農家の参加を募り、集団・集権的な配分を行うことが農地の団地化にあたって有効である。

キーワード：農地の団地化, 交換分合, top trading cycle アルゴリズム