

Center for Economic Institutions

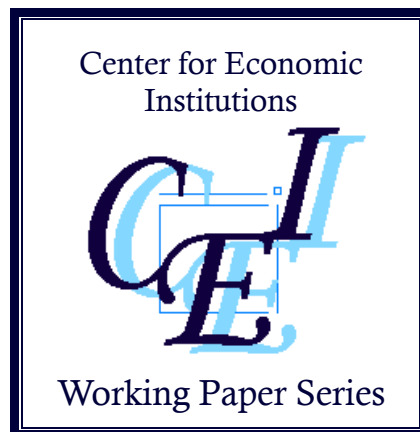
Working Paper Series

No. 2012-7

“Farmland Consolidation by Plot Exchange:
A Simulation-based Approach”

Yutaka Arimoto, Shinsaku Nakajima
and Kohji Tomita

March 2013



Institute of Economic Research
Hitotsubashi University
2-1 Naka, Kunitachi, Tokyo, 186-8603 JAPAN
<http://cei.ier.hit-u.ac.jp/English/index.html>
Tel:+81-42-580-8405/Fax:+81-42-580-8333

区画の交換による農地の集団化は可能か？*

シミュレーションによるアプローチ

有本寛[†]

中嶋晋作[‡]

富田耕治[§]

2013/3/28

要旨

本稿は、区画の交換による分散した耕地の集団化を、非分割財交換問題のひとつと位置づけたうえで、実際にどの程度集団化が可能かを、シミュレーションによって検証した。その結果、現状のように、農家が分権的に相対交換を行ったとしても、自発的な交換に必要な「欲求の二重一致」が少な過ぎるため、最大で約 4 割の集団化率しか達成できないことが分かった。そこで、本稿はより集団化率を高めるため、Shapley and Scarf (1974) の Top Trading Cycle アルゴリズムを援用し、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。この方法では、最大で 95% 以上の高い集団化率を実現できた。以上の結果から、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集団化率を高めるためのポイントであると言える。

* 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）、生源寺眞一（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：一橋大学・有本寛，研究課題番号：22730187）の成果の一部である。

[†] 一橋大学（arimotoy@ier.hit-u.ac.jp）

[‡] 明治大学（anajim@mai.ac.jp）

[§] 産業技術総合研究所（k.tomita@aist.go.jp）

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、農地の集団化が喫緊の課題となっている。

このような農地の集団化は、区画の自発的な交換によって実現可能だろうか？例えば、ある農家が、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集団化（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。農地は場所的不動性という性質を持つからである（近藤，1998，生源寺，1998）。加えて、自発的な区画の交換が行われるためには、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、各農家がそれぞれ、他の農家に対して、1対1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¹。そうであれば、換地や交換分合²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、区画の交換による農地の集団化³が、実際のところどの程度集団化が可能かを、シミュレーションに基づいて定量的に示すことである。シミュレーションでは、まず、現実の農村で実際に行われ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・分権的交換のケースを実行する。そして、欲求が二重一致するケースが少な過ぎるため、集団化の進展がほとんど期待できないことを示す。次に、より効率的な集団化を実施するため、多数の農家が、交換したい区画を農協等の仲介者の元に持ち寄り、集まった区画を仲介者が一斉に再配分する方法を提案する。この集団・集権的交換のケースでは、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できる場合があるため、極めて高い集団化が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達成できることを意味している。

¹ 「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 and Wright, 1993）。

² 換地と交換分合の相違については、森田（1993）を参照。

³ 農地の集団化には、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、移転による農地の集団化には、出し手の離農や経営面積の変更に関する意志決定を扱う必要がある。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。なお、生源寺（1998）が指摘するように、規模拡大の多くが利用権集積のかたちをとっている今日においても、所有権に関する交換分合の意義は失われていない。その理由として、生源寺（1998）は「第1に、貸地（候補）農家が分散した農地を所有する場合、これを集団化しておくことは貸借関係の形成にとってもプラスに働く。第2に、貸地（候補）農家の農地を借地農家の農地に隣接させるといった利用権に配慮した所有権の交換が有効なケースが少なくない」点を指摘している。

農地の集団化に関する研究は、主として農業土木や農村計画の分野において、事例分析や制度の解説を中心に行われてきた。福与・高橋・有田（1994）、福与（2004）は、農地の集団化の一手法である交換分合の成立条件を整理し、生源寺（1992, 1993, 1995）は、交換分合の効果や制度的な課題を指摘している。一方、集団化の方法を比較検討する研究として、Cay, Ayten and Iscan（2009）は、換地の定め方について、面談に基づいて決める方法と、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が示している。また、メカニズム・デザインの観点からは、Tanaka（2007）が分散した農地を直接交渉やオークションによって集団化するラボ実験の結果を報告している。本稿の貢献は、経済学的な関心から区画交換による農地の集団化問題を非分割財交換問題の一種として定式化すること、集団化の帰結をシミュレーションによって定量的に示すこと、集団化率を高める方法として、より現実的な一斉交換による方法を提案しているところにある。

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集団化問題を説明する。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集団化問題

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している。単純化のため、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⁵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⁶を「母地」と呼ぶ。図1に4戸の農家からなる例を示す。図1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

⁵ なお、制度上の団地の定義は、(1) 二つ以上の土地が畦畔で接続している、(2) 二つ以上の土地が小幅員の農道又は水路で接続している、(3) 二つ以上の土地が各々隅で接続し、作業の継続に大きな支障のない、(4) 段状をなしている二つ以上の土地の高低の差が作業の継続に差し支えない場合、(5) 二つ以上の土地が、耕作者の宅地に接続している場合（全国農業会議所，2009）である。点で接する場合も団地とする場合があり、本稿の定義よりも緩い。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。

⁶ シミュレーションでは、同面積の場合は無作為に定めた。

件を「非分割条件」と呼ぼう。図1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。

農地集団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集団化し、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。農家は、先祖代々受け継いできた農地に強い愛着を持っていることが多く、区画の位置の変更を嫌う傾向がある。このため、もっとも強い思い入れのある土地（ここでは母地を想定）を固定し、そこに農地を集団化させる問題を考える⁷。第2は、交換できない飛び地は動かさないことである。上記の理由から、集団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、集団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選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⁸。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」と呼ば

う。依頼元 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

び地を所有する農家を j 、その集合を μ_i で表す。図1の農家1の場合、 $M'_1 = \{A3, B3, C1, C2, C3\}$ 、

$\mu_1 = \{2, 3, 4\}$ 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

$$z_j \in M'_i \quad (1)$$

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

$$z_i \in M'_j \quad (2)$$

⁷ 現実には、母地以外の団地に区画を集団化してもよいと考える農家もいると考えられるが、シミュレーションの計算数を減らす都合上、区画をまとめる先を母地と定めた。

⁸ 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。

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。

(2)が成立するとき、 $i \in \mu_j$ なので、(1)(2)が成立するときは

$$\begin{aligned}j &\in \mu_i \\i &\in \mu_j\end{aligned}$$

が成立している。図1の例では、

$$\begin{aligned}\mu_1 &= \{2, 3, 4\} \\ \mu_2 &= \{3\} \\ \mu_3 &= \{1, 4\} \\ \mu_4 &= \{1, 2, 3\}\end{aligned}$$

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。

このような区画交換による農地集団化問題は、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は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・藤中・若山(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⁹。ただし、一般的な住宅市場問題と本稿の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ひと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、農地集団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¹⁰。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集団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、集団化を希望する農家が、他の農家に1対1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¹¹。第2は、できるだけ集団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、集団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、それらを一斉に再配分するケースである。

⁹ 非分割財交換問題と関連するメカニズム・デザインの日本語の解説は、坂井・藤中・若山(2008)および坂井(2010)を参照。

¹⁰ 以上の2点の特徴を組み込んだ研究として、Konishi, Quint, and Wako (2001, Section 5)は複数単位の財の設定を、Shapley and Scarf (1974, Section 8)は複数単位で補完性がある設定を扱っている。

¹¹ このような自主的な交換耕作の事例については、細山(2004, 第6章, 第8章)を参照。

3.1. 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) ， $z_i \in M_k$ ， $a_j \in M'_i$ 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。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、表 1 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集団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、母地に連坦して拡張された区画（「母地拡張区画」と呼ぶ）の交換も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、後者で母地拡張区画を交換する場合、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、他の農家の集団化を助けることができる¹²。後者は、このような慈善的な交換を許すものである。

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

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いと考えられる。ただし、これらの方法では、ひと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¹³。

3.2. サイクル方式

相対交換方式は、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、取引機会が限定されてしまう問題がある。例えば、図1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 Top Trading Cycle (TTC) アルゴリズム (Shapley and Scarf, 1974) で利用されているアイデアを採用すればよい。これは、各自が、最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中で交換を行うというものである。図1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F2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、 $2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 2$ というサイクルができています。このサイクルのなかで、農家2と3の間で $F1 \leftrightarrow B6$ を交換し、次に農家3と農家4の間で $F1 \leftrightarrow F7$ を交換することで、それぞれ望む区画を得られる（図2）。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。図2の例では、図3で示す9通りのサイクルを作ることができる。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、多数の農家が一斉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。

飛び地なのか母地拡張区画なのかに関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。

¹³ 同順位の場合は、次のような辞書的な処理を行った。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。

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集団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。個人がひと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¹⁴、TTC アルゴリズムによってそれを配分できることが知られている。しかし、農家が複数単位の非分割財を消費する農地集団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 and Scarf (1974, Section 8), Konishi, Quint, Wako (2001, Section 5)）。さらに農地集団化問題では、財の間に（連坦による）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で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、筆者らが知る限り、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、Top Trading Cycle (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作り、再配分を繰り返していくものである。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。
2. μ_k に基づきサイクルをつくる。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なかから、一定のルール（後述）に基づき、ひとつを選ぶ。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。

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集団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

¹⁴ 強コア配分はさらに耐戦略性も満たす。

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。残りは、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、図1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： 4 → 3 → 4

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： 4 → 2 → 3 → 1 → 4

となる。長いサイクルを優先的に選ぶと、より早く多くの農家の集団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

4.1. 設定

交換を実施する設定として、農家戸数30戸、総面積30ha、総区画面数300区画(1区画0.1ha)の農業集落を想定した。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年の農林業センサスより得た、都府県の所有耕地面積規模別農家(経営体)数の分布と、生成したデータの分布を比較した(付図1)。0.5ha未満層のシェアに若干の相異があるが、実際の分布をほぼ近似できていることを確認できた。続いて、それぞれの所有面積分布パターンについて、各農家の従前地を無作為に、100通り配置した。以上の操作により、 $100 \times 100 = 10,000$ 通りの面積×配置パターンが作成される。

交換への農家の参加シナリオとして、参加率と参加パターンを変えた7通りを試した(付表1)。集落の全農家が区画を交換する意欲を持っているとは限らないので、参加率について25%、50%、75%、100%のシナリオを考える。また、参加率100%未満については、各規模の農家が均等に参加する場合と、集団化の利益が大きい大規模農家ばかりが参加する場合を設定する。参加率が100%未満のシナリオでは、参加者間でしか交換の交渉ができない。

アルゴリズムのバリエーションは、表 2 に要約した通りである。相対交換方式のバリエーションは 16 通りある。10,000 通りの面積×配置パターンそれぞれについて、7 (参加パターン) ×16 (バリエーション) =112 通りの交換を行う。よって、総観察数は 1,120,000 となる。サイクル方式のバリエーションは 8 通りである。各面積×配置パターンについて、7 (参加パターン) ×8 (バリエーション) =56 通りの交換を行うため、総観察数は 560,000 となる。

4.2. 成果の評価

農地集団化の成果は、集団化率によって測定する。集団化率は、換地や交換分合の効果測定する指標として、しばしば用いられる。集落レベルでみた集団化率は、従前および交換後の総団地数を A^0 , A^1 , 農家戸数を n (本稿の設定では 30) としたとき、

$$y = \frac{A^0 - A^1}{A^0 - n}$$

で定義される。分母は、1 戸 1 団地を目標としたときに、集団化によって削減可能な団地数の最大値であり、分子はそのうち集団化できた団地数を表している。1 であれば削減可能な団地数がすべて集団化され、0 であればまったく達成されなかったことを意味する。なお、この指標は、農家レベルでも定義できる。この場合、分母は $A_i^0 - 1$ である。ただし、はじめから 1 団地しかない農家については定義できない。

5. 結果

5.1. 交換可能な相手の戸数と確率

まず、交換可能な相手が何戸見つかるかを検証する。これは、自分が交換したい農家の数 (自分の母地に隣接する区画を所有している農家。以下、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。

図 4 に、経営面積別のこれらの戸数、および交換可能な農家が少なくとも 1 戸見つかった確率を示す。10,000 通りの面積×配置パターンの初期状態について、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。本シミュレーションの設定では、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 戸見つかった確率は 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 1/2 の確率で少なくとも 1 区画は交換ができそうである。1.5ha 以上の規模であれば、平均して 1 戸と交換が可能であり、2ha 以上であれば、8 割の確率で、少なくとも 1

戸とは交換が可能である。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 戸は見つかる。ただし、結果として集団化が達成されるには、このようなマッチングが多数必要である。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。

なお、交換希望農家数は、受諾領域 M_i' にどれだけ多くの異なる農家が可換飛び地を持っているかを反映する。このため、 M_i' が広いほど多くなる。また、被交換希望農家数も、可換飛び地の数が多いほど高くなると考えられる。これは図 4 で確認された。いずれも、経営面積に対してほぼ線形に上昇している。ただし、被交換希望農家数の方が早く増えている。これは、経営面積が増えるにつれて、 M_i' （ないし母地）の面積の大きさよりも、飛び地の数の方が早く増えるからだと考えられる。実際、被交換希望農家数は、飛び地の数を近似する従前の団地数とほぼ並行に連動していた（図は省略）。

5.2. 参加率別の集団化率

表 2 および図 5 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（表 2 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、バリエーションに関わらず、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見つからない。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。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方が成果が高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分かった。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。

5.3. バリエーション別の効果

シミュレーションでは、相対交換方式で 16 通り、サイクル方式で 8 通りのバリエーションを試し、どの成果がよいか検証を行った。付録 A および付表 2 に、回帰分析の詳細と結果を示す。ただし、表 2 や図 5 から明らかなように、一部を除いてバリエーション間で大

きな違いはなかった。いずれの方式においても、最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集団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ついてあまりこだわる必要はないということになる。例えば、相対交換方式では、小さい飛び地（の団地）から寄せることにこだわる必要はなく、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、集団化しやすい。これは、1 戸の大規模農家が多くて多くの区画を所有し、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。

5.4. 農家レベルの結果

以上は集落レベルでみた集団化率の結果であったが、農家レベルの結果も概観しておく。まず、農家レベルの集団化率の平均を、集落レベルの結果と比較すると、両者に大きな違いはなかった（付表 3）

次に、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を検証する。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、規模に依らず、均一に集団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良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。これは、集団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。

図 6 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（データは付表 4）。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依らない。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、交換による集団化の利益を得やすいと言える。

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 に関わらず、ほぼ一律に9割以上の高い集団化を達成できる。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（付表4）。相対交換方式で母地拡張区画の交換を許さない場合は、バリエーションに関わらず、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×サイクル（短）の場合、0.348（大規模順）、0.324（小規模順）とばらつきが大きい。逆に、母地拡張区画の交換を許すと、規模に関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。

以上の結果より、サイクル方式の下で、規模に依らず均等な集団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言える。一方、大規模層の参加を強く推進したいならば、短いサイクルを選ぶとよい。

6. 結論

本稿は、区画交換による農地集団化問題を、非分割財交換問題のひとつと位置づけたうえで、実際にどの程度集団化が可能かを、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ひとつ見つかった。ただし、集団化にはこのようなマッチングが多数必要であり、相対交換では十分な集団化が見込めないことが分かった。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見つからず、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。100%の参加をとりつけることができれば、約3割（母地拡張区画の交換を許せば約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、参加率が上がるほど飛躍的に高くなり、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%以上の集団化が実現できた。これは、多数の農家で交換のサイクルを作り、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集団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つ

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・五味編

で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。

本稿は、区画交換による集団化問題をシミュレーションによって検討したが、課題の対象やシミュレーションの方法については一定の留意を要する。まず、本稿は交換による集団化を対象としたが、現在の集団化の主流な手段は交換ではなく、所有権や利用権の移転である。交換の場合は、区画の隣接性に関する条件が双方向に満たされる必要があり、マッチングの確率を下げる要因となった。これに対して、移転の場合は、この条件が片側（受け手）のみですむため、マッチングの制約は緩い。しかし、区画の出し手が経営規模の縮小に同意するかどうかという別の問題がある。連坦を要件とした利用権設定の助成（規模拡大加算、分散錯圃解消協力金等）は、受け手の地代負担力を高めたり、農地の放出を促進したりすることで、同意確率を高めることに寄与するかもしれない。一方、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。ただし、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、現実には面積や質も異なるため、実際の交換の交渉は容易ではないだろう。この点を考慮すると、現実には交換を実施した場合のパフォーマンスは、シミュレーションの結果よりも低くなると考えられる。

本稿は、農地の取引に付随するマッチングの摩擦として、場所的不動性に起因する区画の隣接性に焦点を当てたが、この他にも、農地の移転のタイミングや貸付期間のズレなどがミスマッチの要因となる。農地保有合理化法人は、これを緩和する役割が期待されている。売却や貸し出しで放出された農地を中間保有することで、移転のタイムラグを解消したり、複数の出し手の区画を集約・連坦化して受け手に仲介したりすることができるからである。この効果の実証的な検証は今後の課題である。また、本稿の区画交換による農地集団化問題のような、複数単位で補完性があり、無差別な選好を許すクラスの非分割財交換問題の理論的な特徴づけや、より望ましいアルゴリズムの開発も残された課題である。

引用文献

Cay, T., Ayten, T., and Iscan, F. (2010) “Effects of Different Land Reallocation Models on the Success of Land Consolidation Projects: Social and Economic Approaches,” *Land Use Policy*, 27, 262-269.

福与徳文・高橋強・有田博之（1994）「農振法による交換分合の実態と成立条件：新潟県新津市と岐阜県大垣市の事例研究」『農業土木学会論文集』，172，85～93.

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。

（2002））。ただし、割地の主な目的は年貢負担やリスクの均等化であった。

- 桂明宏 (2004) 『果樹園流動化論』 農林統計協会.
- 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』 第 81 卷, 第 1 号, pp.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, 1-15.
- 近藤巧 (1998) 「農場の土地利用の経済分析」『基本法農政下の日本稲作：その計量経済学的研究』 北海道大学図書刊行会, 129～166.
- 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.
- 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 H. Scarf (1974) “On cores and indivisibility,” *Journal of Mathematical Economics*, vol. 1, pp. 23-37.
- 生源寺眞一 (1992) 「農家主導型交換分合事業の実態と特質—千葉県旭市中谷里地区—」 全国農業会議所 『平成 3 年度交換分合推進開発検討調査結果報告書』 全国農業会議所, 73～95.
- 生源寺眞一 (1993) 「樹園地における交換分合事業の実態と特質—愛媛県吉田町吉田地区—」 全国農業会議所 『平成 4 年度交換分合推進開発検討調査結果報告書』 全国農業会議所, 60～75.
- 生源寺眞一 (1995) 「換地処分併せ交換分合事業の特質—新潟県中之島町中条地区のケース—」 全国農業会議所 『平成 6 年度交換分合推進開発検討調査結果報告書』 全国農業会議所, 15～23.
- 生源寺眞一 (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.
- 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.

図

	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

図1 分散錯圃の例

注) 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。

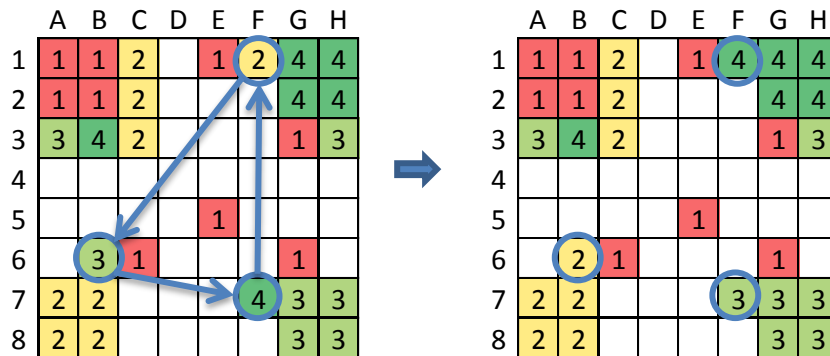


図2 サイクル方式の例 (2→3→4→2)

1 → 2 → 3 → 1

1 → 2 → 3 → 4 → 1

1 → 3 → 1

1 → 3 → 4 → 1

1 → 4 → 1

1 → 4 → 2 → 3 → 1

1 → 4 → 3 → 1

2 → 3 → 4 → 2

3 → 4 → 3

図3 交換可能なサイクル

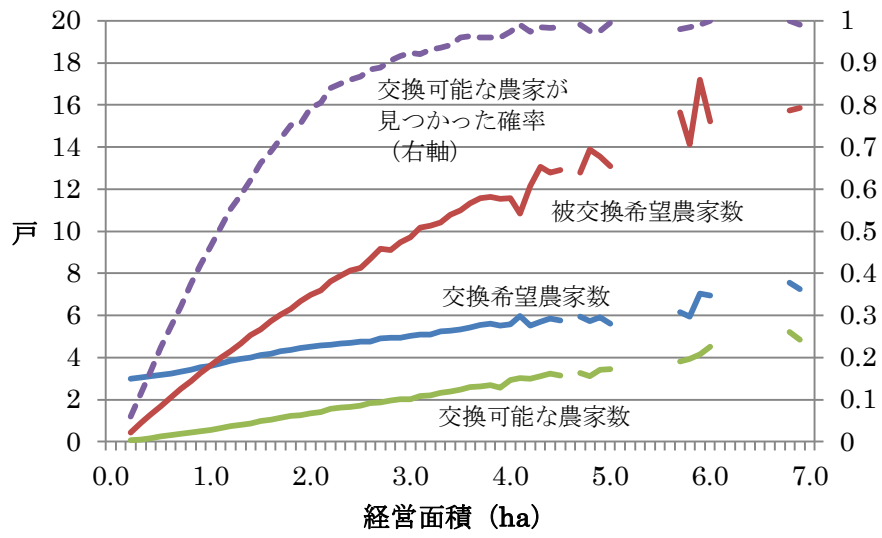
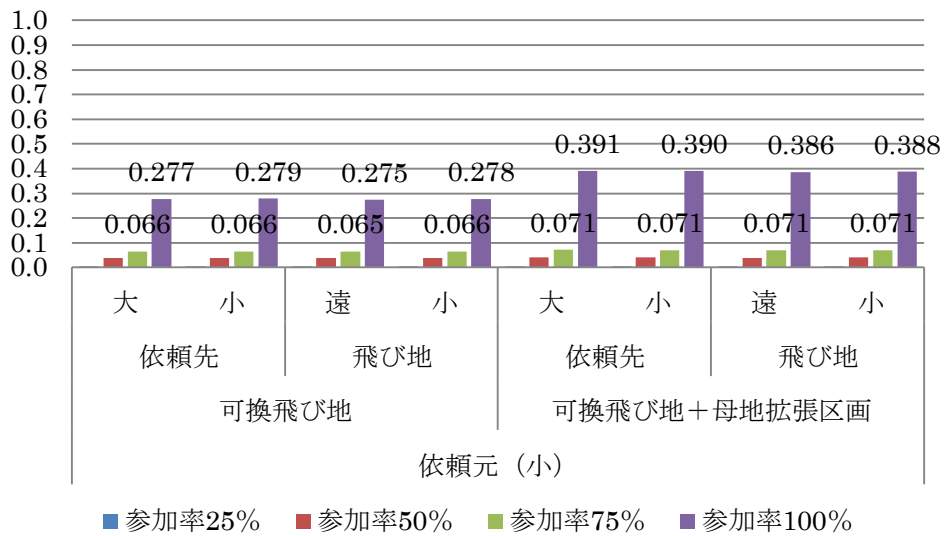
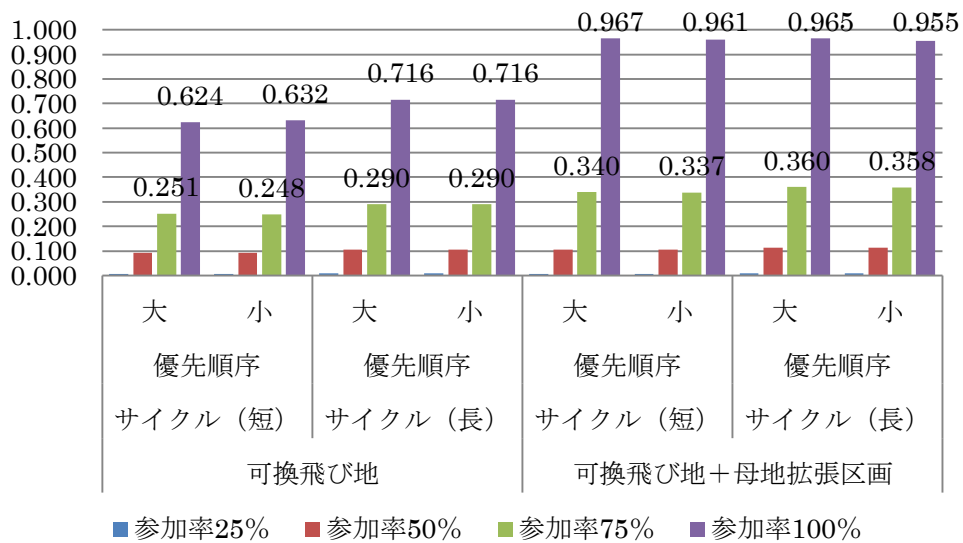


図 4 交換可能な相手の戸数と確率



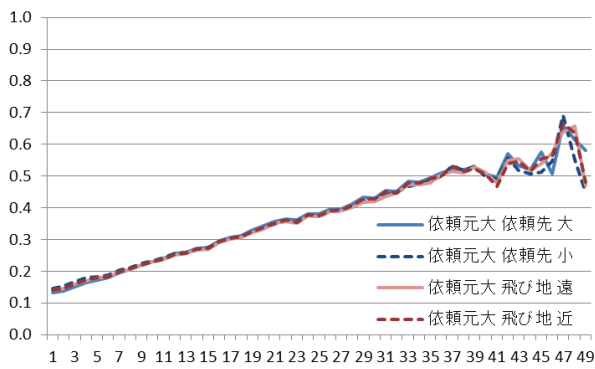
(a) 相対交換方式 (依頼元 (小))



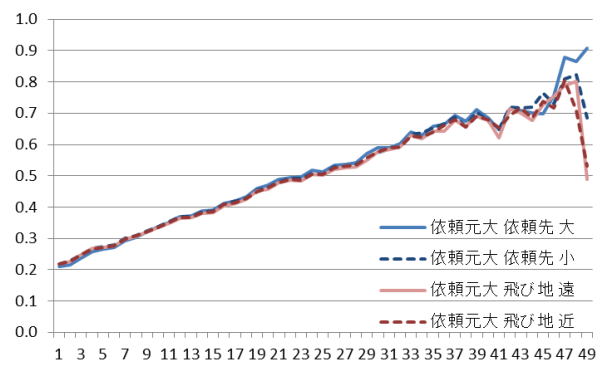
(b) サイクル方式

図5 参加率×アルゴリズム別の集団化率 (集落レベル)

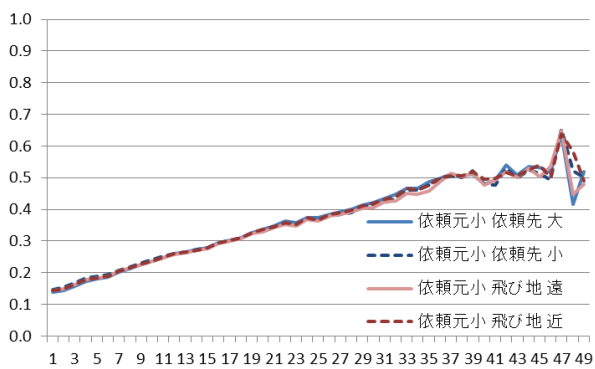
注) 「均等」参加パターンの結果を示している。



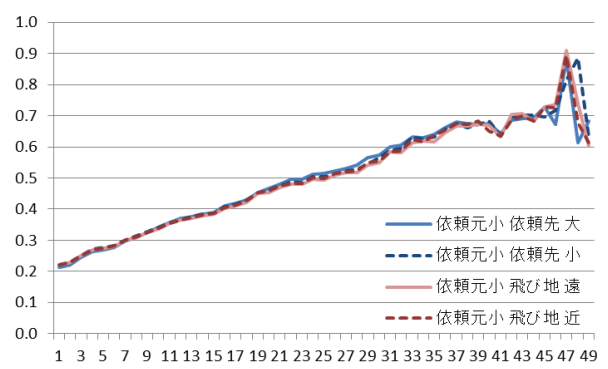
相対交換方式：依頼元（大）



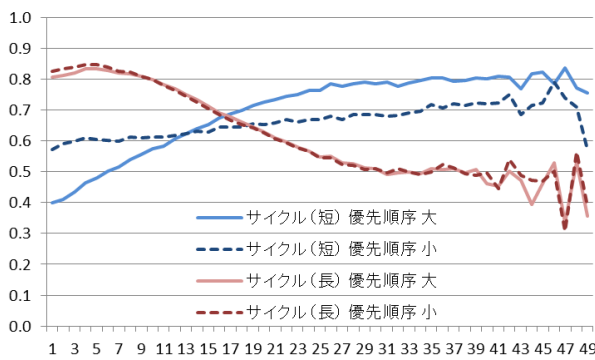
相対交換方式：依頼元（大）



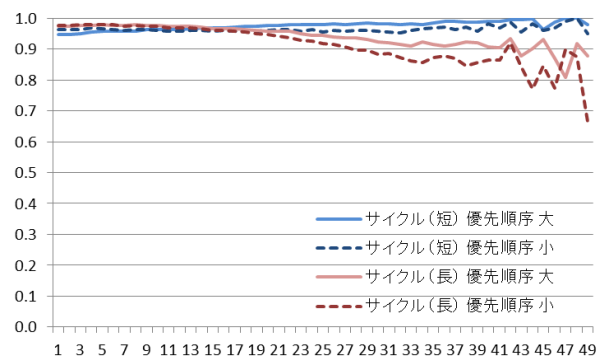
相対交換方式：依頼元（小）



相対交換方式：依頼元（小）



サイクル方式



サイクル方式

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

図6 削減可能団地数別の集団化率（農家レベル）

注) 横軸は、削減可能団地数 (λ) である。

表

表 1. 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(長)	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(長)	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+母地拡張区画	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+母地拡張区画	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+母地拡張区画	サイクル(短)	大規模
8	可換飛び地	依頼元(小)	飛び地(近)	可換飛び地+母地拡張区画	サイクル(短)	小規模
9	可換飛び地+母地拡張区画	依頼元(大)	依頼先(大)			
10	可換飛び地+母地拡張区画	依頼元(大)	依頼先(小)			
11	可換飛び地+母地拡張区画	依頼元(大)	飛び地(遠)			
12	可換飛び地+母地拡張区画	依頼元(大)	飛び地(近)			
13	可換飛び地+母地拡張区画	依頼元(小)	依頼先(大)			
14	可換飛び地+母地拡張区画	依頼元(小)	依頼先(小)			
15	可換飛び地+母地拡張区画	依頼元(小)	飛び地(遠)			
16	可換飛び地+母地拡張区画	依頼元(小)	飛び地(近)			

表 2. 参加率×アルゴリズム別の集団化率（集落レベル）

	相対交換方式																サイクル方式								
	可換飛び地								可換飛び地+母地拡張区画								可換飛び地				可換飛び地+母地拡張区画				
	依頼元(大)				依頼元(小)				依頼元(大)				依頼元(小)				サイクル(短)		サイクル(長)		サイクル(短)		サイクル(長)		
	依頼先		飛び地		依頼先		飛び地		依頼先		飛び地		依頼先		飛び地		優先順序		優先順序		優先順序		優先順序		
	大	小	遠	小	大	小	遠	小	大	小	遠	小	大	小	遠	小	大	小	大	小	大	小	大	小	
パネルA: 均等参加																									
参加率25%	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.007	0.007	0.008	0.008	0.007	0.007	0.008	0.008	
参加率50%	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.040	0.040	0.039	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.093	0.092	0.104	0.104	0.104	0.104	0.113	0.113
参加率75%	0.066	0.066	0.065	0.066	0.066	0.066	0.066	0.065	0.066	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.251	0.248	0.290	0.290	0.340	0.337	0.360	0.358
参加率100%	0.276	0.277	0.273	0.275	0.277	0.279	0.275	0.278	0.390	0.391	0.386	0.388	0.391	0.390	0.386	0.388	0.624	0.632	0.716	0.716	0.967	0.961	0.965	0.955	
パネルB: 大規模偏重参加																									
参加率25%	0.081	0.081	0.080	0.081	0.082	0.082	0.080	0.081	0.091	0.091	0.090	0.091	0.092	0.092	0.090	0.091	0.156	0.156	0.174	0.173	0.188	0.188	0.199	0.198	
参加率50%	0.195	0.196	0.193	0.195	0.197	0.198	0.194	0.197	0.255	0.255	0.252	0.254	0.255	0.256	0.251	0.254	0.450	0.454	0.519	0.519	0.688	0.683	0.699	0.691	
参加率75%	0.263	0.264	0.261	0.262	0.264	0.265	0.262	0.265	0.368	0.368	0.364	0.366	0.369	0.368	0.364	0.366	0.597	0.604	0.686	0.687	0.927	0.921	0.927	0.916	

注) 各参加パターン×アルゴリズムにつき、10,000通りの面積×配置パターンで交換した結果の平均値を示している。

付録 A. バリエーション別の効果の推計結果

どのバリエーションの成果がよいかを判別するために、回帰分析を行った。回帰式は

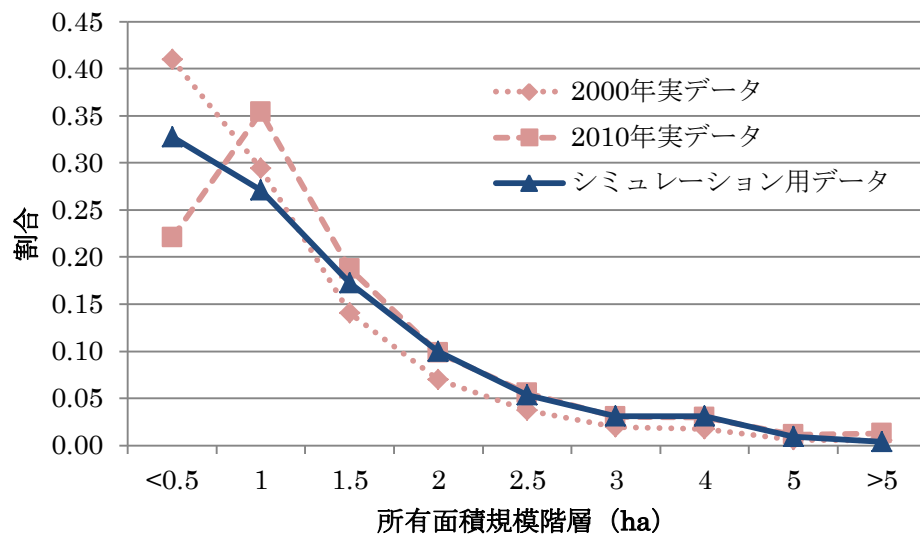
$$y_{lpp} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{Participation}_p + \beta \text{Variation}_v + \delta_1 \text{Block}_l + \delta_2 \text{Gini}_l + \varepsilon_{lpp}$$

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、ひとつの面積×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。

付表 3 に推定結果を示す。標準誤差は、面積×配置パターンをクラスターとした頑健標準誤差である。まず、相対交換方式の結果をみると、参加率が高まるほど、また上層の農家が参加するほど集団化率も改善されることが確認できる。次に、バリエーション別の効果を見る。母地拡張区画の交換不可×依頼元（小）×依頼先（大）を基準とする。各バリエーションの主効果を見ると、母地拡張区画も交換対象とすることによって、集団化率が 4.2 ポイントの上乗せされる。その他の主効果は、すべて 1 ポイント未満の微少な大きさである。

サイクル方式についてみると、集団化率にもっとも大きな影響を与えるバリエーションは、母地拡張区画の交換の可否である。交換不可×サイクル（短）×小規模順を基準とすると、交換を許す場合は、主効果で 14.4 ポイントの大幅な上積みを実現できる。交差効果も勘案すると、サイクル（長）×大規模順の組み合わせによって、合計 15.2 ポイントという最大の効果が得られた²⁴。母地拡張区画の交換を許さない場合は、サイクル（長）×小規模順の組み合わせで 4.4 ポイントの上乗せが得られた。

²⁴ 交換可 (+0.144) + サイクル（長） (+0.044) + 大規模順 (-0.002) + 交換可×サイクル（長） (-0.038) + 交換可×大規模順 (+0.005) + 交換可×サイクル（長）×大規模順 (-0.001) = 0.152.



付図1 所有面積規模別の分布

付表 1. 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	1	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	0	1	0	0	1	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	1	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.

付表 2. 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

注) *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

標準誤差は、面積×配置パターンでクラスターされた頑健誤差である。

付表 3. 参加率×アルゴリズム別の集団化率（農家レベル）

	相対交換方式																サイクル方式								
	可換飛び地								可換飛び地+母地拡張区画								可換飛び地				可換飛び地+母地拡張区画				
	依頼元(大)				依頼元(小)				依頼元(大)				依頼元(小)				サイクル(短)		サイクル(長)		サイクル(短)		サイクル(長)		
	依頼先		飛び地		依頼先		飛び地		依頼先		飛び地		依頼先		飛び地		優先順序		優先順序		優先順序		優先順序		
	大	小	遠	小	大	小	遠	小	大	小	遠	小	大	小	遠	小	大	小	大	小	大	小	大	小	
パネルA: 均等参加																									
参加率25%	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.008	0.008	0.009	0.009	0.008	0.008	0.009	0.009
参加率50%	0.031	0.031	0.031	0.031	0.032	0.032	0.031	0.032	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.085	0.089	0.107	0.109	0.098	0.101	0.116	0.117
参加率75%	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.061	0.060	0.061	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.066	0.065	0.065	0.253	0.266	0.334	0.338	0.357	0.365	0.407	0.408	
参加率100%	0.213	0.220	0.215	0.216	0.218	0.223	0.219	0.220	0.313	0.318	0.315	0.316	0.316	0.319	0.316	0.318	0.536	0.611	0.775	0.783	0.959	0.962	0.972	0.969	
パネルB: 大規模偏重参加																									
参加率25%	0.038	0.038	0.037	0.038	0.038	0.038	0.037	0.038	0.042	0.042	0.042	0.042	0.043	0.043	0.042	0.043	0.075	0.076	0.086	0.086	0.090	0.091	0.097	0.097	
参加率50%	0.114	0.116	0.114	0.115	0.117	0.118	0.116	0.117	0.151	0.153	0.151	0.152	0.153	0.154	0.151	0.153	0.277	0.295	0.354	0.356	0.444	0.446	0.462	0.458	
参加率75%	0.186	0.191	0.187	0.188	0.190	0.194	0.191	0.192	0.268	0.272	0.269	0.270	0.271	0.273	0.271	0.272	0.459	0.511	0.635	0.640	0.793	0.795	0.806	0.801	

付表 4. 必要集団化団地数別の集団化率（農家レベル）

削減 可能 団地数 (λ)	相対交換方式												サイクル方式											
	可換飛び地								可換飛び地+母地拡張区画								可換飛び地				可換飛び地+母地拡張区画			
	依頼元大				依頼元小				依頼元大				依頼元小				サイクル(短)		サイクル(長)		サイクル(短)		サイクル(長)	
	依頼先		飛び地		依頼先		飛び地		依頼先		飛び地		依頼先		飛び地		優先順序	優先順序	優先順序	優先順序	優先順序	優先順序	優先順序	優先順序
1	0.133	0.146	0.141	0.139	0.138	0.147	0.144	0.144	0.209	0.219	0.218	0.218	0.214	0.221	0.221	0.221	0.399	0.571	0.806	0.826	0.947	0.963	0.974	0.976
2	0.138	0.152	0.146	0.147	0.145	0.154	0.149	0.150	0.215	0.229	0.226	0.226	0.222	0.228	0.228	0.228	0.411	0.590	0.813	0.832	0.948	0.963	0.975	0.976
3	0.152	0.167	0.158	0.159	0.158	0.167	0.163	0.163	0.236	0.248	0.248	0.247	0.244	0.250	0.250	0.249	0.435	0.599	0.821	0.840	0.950	0.964	0.976	0.979
4	0.165	0.179	0.171	0.172	0.174	0.183	0.177	0.178	0.257	0.268	0.267	0.267	0.263	0.271	0.268	0.269	0.464	0.609	0.832	0.848	0.955	0.967	0.978	0.978
5	0.173	0.184	0.179	0.179	0.180	0.188	0.183	0.185	0.265	0.273	0.270	0.271	0.270	0.277	0.275	0.275	0.481	0.604	0.833	0.846	0.958	0.967	0.980	0.979
6	0.180	0.189	0.182	0.182	0.187	0.194	0.189	0.190	0.271	0.280	0.277	0.276	0.278	0.283	0.281	0.282	0.501	0.602	0.829	0.838	0.962	0.968	0.978	0.978
7	0.195	0.204	0.199	0.199	0.202	0.208	0.205	0.205	0.293	0.299	0.297	0.298	0.299	0.301	0.301	0.300	0.516	0.598	0.820	0.826	0.957	0.962	0.977	0.975
8	0.206	0.212	0.207	0.208	0.213	0.219	0.215	0.216	0.303	0.309	0.306	0.307	0.309	0.315	0.310	0.313	0.539	0.611	0.817	0.823	0.959	0.963	0.978	0.976
9	0.219	0.224	0.218	0.220	0.226	0.230	0.227	0.228	0.322	0.325	0.320	0.322	0.326	0.328	0.324	0.325	0.554	0.608	0.808	0.810	0.962	0.962	0.977	0.975
10	0.230	0.233	0.229	0.229	0.237	0.241	0.237	0.238	0.336	0.338	0.335	0.334	0.340	0.341	0.337	0.339	0.575	0.612	0.798	0.797	0.963	0.961	0.975	0.973
11	0.241	0.242	0.239	0.239	0.248	0.251	0.247	0.248	0.351	0.354	0.347	0.349	0.356	0.356	0.354	0.355	0.583	0.612	0.781	0.780	0.962	0.968	0.973	0.970
12	0.256	0.257	0.252	0.254	0.259	0.260	0.258	0.260	0.370	0.369	0.364	0.367	0.371	0.366	0.365	0.366	0.606	0.616	0.768	0.763	0.962	0.958	0.973	0.969
13	0.260	0.260	0.256	0.258	0.265	0.266	0.263	0.265	0.371	0.370	0.367	0.368	0.376	0.371	0.373	0.623	0.622	0.750	0.745	0.966	0.959	0.973	0.967	
14	0.271	0.269	0.267	0.269	0.273	0.274	0.271	0.272	0.388	0.385	0.380	0.382	0.385	0.385	0.380	0.382	0.641	0.632	0.732	0.725	0.968	0.961	0.970	0.965
15	0.276	0.274	0.270	0.273	0.278	0.278	0.276	0.278	0.391	0.388	0.384	0.386	0.388	0.387	0.384	0.385	0.654	0.630	0.711	0.704	0.967	0.957	0.966	0.961
16	0.295	0.293	0.290	0.293	0.296	0.294	0.291	0.294	0.413	0.409	0.404	0.408	0.410	0.407	0.403	0.405	0.674	0.644	0.692	0.685	0.969	0.960	0.966	0.960
17	0.306	0.303	0.301	0.304	0.304	0.301	0.299	0.302	0.419	0.420	0.410	0.414	0.420	0.416	0.411	0.414	0.687	0.645	0.677	0.667	0.971	0.959	0.966	0.958
18	0.313	0.309	0.306	0.309	0.311	0.311	0.307	0.311	0.433	0.429	0.424	0.426	0.428	0.428	0.421	0.426	0.699	0.644	0.660	0.654	0.974	0.959	0.963	0.954
19	0.332	0.326	0.322	0.326	0.326	0.325	0.323	0.327	0.459	0.455	0.451	0.449	0.454	0.452	0.449	0.454	0.716	0.656	0.646	0.642	0.972	0.958	0.959	0.948
20	0.344	0.336	0.334	0.337	0.337	0.335	0.330	0.336	0.471	0.462	0.457	0.462	0.466	0.461	0.453	0.458	0.724	0.653	0.629	0.626	0.976	0.960	0.959	0.946
21	0.358	0.348	0.351	0.352	0.347	0.345	0.342	0.345	0.490	0.480	0.479	0.479	0.480	0.475	0.469	0.474	0.735	0.657	0.609	0.607	0.977	0.962	0.957	0.943
22	0.365	0.359	0.358	0.362	0.364	0.356	0.353	0.359	0.494	0.492	0.486	0.488	0.496	0.487	0.480	0.484	0.745	0.668	0.595	0.594	0.978	0.962	0.958	0.937
23	0.363	0.357	0.356	0.358	0.358	0.352	0.349	0.353	0.496	0.490	0.483	0.485	0.495	0.486	0.479	0.483	0.751	0.660	0.581	0.577	0.978	0.957	0.949	0.928
24	0.379	0.377	0.375	0.377	0.374	0.368	0.368	0.374	0.517	0.507	0.505	0.504	0.511	0.504	0.496	0.501	0.763	0.669	0.566	0.567	0.980	0.964	0.945	0.924
25	0.380	0.373	0.372	0.376	0.373	0.366	0.363	0.366	0.513	0.503	0.501	0.505	0.514	0.504	0.494	0.499	0.764	0.669	0.549	0.546	0.979	0.956	0.944	0.916
26	0.397	0.389	0.389	0.392	0.385	0.380	0.378	0.384	0.535	0.528	0.521	0.526	0.524	0.512	0.510	0.515	0.784	0.678	0.550	0.545	0.981	0.961	0.939	0.914
27	0.395	0.392	0.391	0.393	0.394	0.385	0.383	0.390	0.535	0.529	0.525	0.531	0.530	0.522	0.516	0.520	0.776	0.670	0.528	0.525	0.978	0.957	0.936	0.908
28	0.412	0.404	0.402	0.406	0.399	0.390	0.392	0.398	0.543	0.536	0.529	0.533	0.541	0.528	0.518	0.523	0.785	0.685	0.527	0.520	0.982	0.961	0.935	0.897
29	0.433	0.423	0.418	0.428	0.415	0.409	0.402	0.410	0.571	0.556	0.550	0.558	0.565	0.545	0.540	0.548	0.789	0.684	0.514	0.508	0.985	0.960	0.931	0.897
30	0.429	0.429	0.420	0.427	0.421	0.415	0.407	0.418	0.588	0.573	0.575	0.576	0.574	0.564	0.550	0.554	0.783	0.685	0.510	0.510	0.983	0.959	0.923	0.884
31	0.454	0.442	0.437	0.451	0.434	0.421	0.424	0.433	0.591	0.587	0.584	0.588	0.600	0.590	0.584	0.585	0.789	0.679	0.491	0.497	0.982	0.955	0.920	0.885
32	0.450	0.449	0.446	0.447	0.447	0.434	0.426	0.440	0.602	0.593	0.591	0.592	0.605	0.596	0.582	0.587	0.777	0.681	0.497	0.508	0.978	0.952	0.915	0.871
33	0.483	0.468	0.474	0.477	0.466	0.461	0.450	0.465	0.639	0.632	0.629	0.627	0.633	0.631	0.613	0.624	0.789	0.691	0.500	0.499	0.983	0.961	0.910	0.862
34	0.480	0.477	0.472	0.477	0.467	0.462	0.449	0.462	0.630	0.636	0.619	0.624	0.629	0.625	0.618	0.616	0.795	0.696	0.494	0.490	0.979	0.965	0.922	0.855
35	0.493	0.485	0.479	0.491	0.488	0.478	0.458	0.477	0.658	0.652	0.643	0.641	0.640	0.633	0.616	0.637	0.805	0.718	0.510	0.500	0.985	0.969	0.916	0.873
36	0.511	0.499	0.503	0.499	0.498	0.497	0.488	0.501	0.664	0.666	0.644	0.662	0.662	0.656	0.646	0.655	0.804	0.707	0.507	0.523	0.990	0.971	0.910	0.877
37	0.521	0.533	0.514	0.531	0.512	0.505	0.514	0.507	0.693	0.687	0.676	0.681	0.681	0.673	0.668	0.675	0.794	0.721	0.510	0.513	0.989	0.962	0.916	0.871
38	0.521	0.519	0.510	0.516	0.505	0.501	0.503	0.506	0.675	0.658	0.659	0.656	0.674	0.662	0.667	0.673	0.795	0.714	0.498	0.494	0.987	0.970	0.924	0.846
39	0.528	0.531	0.529	0.524	0.512	0.523	0.513	0.520	0.712	0.703	0.690	0.689	0.672	0.672	0.672	0.682	0.804	0.723	0.508	0.487	0.986	0.957	0.921	0.856
40	0.508	0.500	0.511	0.508	0.480	0.481	0.476	0.494	0.686	0.674	0.676	0.681	0.674	0.682	0.668	0.650	0.800	0.721	0.461	0.497	0.990	0.982	0.908	0.865
41	0.496	0.490	0.479	0.467	0.492	0.478	0.493	0.497	0.648	0.649	0.621	0.654	0.642	0.638	0.633	0.635	0.809	0.724	0.452	0.444	0.991	0.969	0.904	0.864
42	0.570	0.558	0.550	0.538	0.540	0.529	0.520	0.518	0.714	0.720	0.714	0.692	0.684	0.697	0.704	0.687	0.807	0.750	0.501	0.540	0.995	0.988	0.934	0.920
43	0.534	0.518	0.555	0.546	0.508	0.499	0.500	0.505	0.709	0.715	0.700	0.717	0.691	0.703	0.706	0.698	0.769	0.684	0.472	0.489	0.994	0.955	0.877	0.842
44	0.519	0.508	0.517	0.514	0.536	0.524	0.529	0.525	0.701	0.719	0.677	0.684	0.694	0.701	0.683	0.683	0.817	0.715	0.395	0.472	0.998	0.982	0.901	0.772
45	0.576	0.513	0.539	0.554	0.533	0.515	0.503	0.541	0.699	0.764	0.727	0.737	0.727	0.695	0.729	0.729	0.822	0.723	0.461	0.469	0.964	0.962	0.931	0.844
46	0.508	0.546	0.573	0.563	0.516	0.492	0.535	0.500	0.755	0.731	0.753	0.717	0.671	0.717	0.736	0.726	0.785	0.791	0.530	0.503	0.986	0.967	0.870	0.774
47	0.660	0.691	0.638	0.665	0.638	0.654	0.649	0.638	0.878	0.809	0.787	0.803	0.883	0.814	0.910	0.894	0.835	0.739	0.335	0.309	1.000	0.989	0.809	0.899
48	0.615	0.552	0.656	0.635	0.417	0.521																		