

論 説

中国におけるゲノム編集米の消費者受容性

——選択型実験による接近——

倪 協 溢*
寺 脇 拓†

1. はじめに

近年、効率的な品種改良や新たな機能を備えた食品の開発に向けて、ゲノム編集 (Gene Editing) と呼ばれる育種技術が注目を集めている。ゲノム編集は、特定の遺伝子を狙ってDNAを切断し、その修復過程で起こる変異を誘発することで、その遺伝子を改変する技術のことである (山本, 2019)。それを食品に適用することで、生産性を高めたり、より品質の高い食品を生み出したりすることを可能にする。これまで使われてきた遺伝子組み換え (Genetically Modified) 技術と異なるのは、遺伝子組み換え技術が、自然界では起こりえない、外来の遺伝子をその食品に組み込むのに対して、ゲノム編集は、その生物が持つ遺伝情報を、遺伝子の切り貼りによって「編集する」ものであり、切断個所に外来遺伝子を導入しない限りは、種の壁を超えるものとはならないところにある。基本的には、自然界で起こりうる突然変異と同じ変異を人工的に誘発するだけなので、ゲノム編集は一般に遺伝子組み換え技術よりも安全だと認識されている。また、標的とする場所で変異を起こすことができるため、化学物質やガンマ線を使ってランダムな変異を期待する従来の育種技術よりも、効率的に品種改良や育種を行うことが可能になる (パルシステム, 2019)。

こうしたゲノム編集技術の優れた特徴から、21世紀に入って以降、この技術を使って様々な食品が開発されてきた。とりわけ2012年のCRISPR/Cas9の開発により、その応用が急速に広がっている。この開発をけん引するのが中国である。中島・近藤 (2018) によれば、2011年から2016年の間に報告された、食用と考えられるゲノム編集動植物の数を国別に集計したところ、中国からの報告が圧倒的に多く、その数は69と二番目に位置するアメリカの18をはるかに上回る。MarketsandMarkets (2017) のレポートによれば、世界のゲノム編集・ゲノム工学の市場は2017年の31.9億ドルから2022年には62.8億ドルに成長し、年間平均成長率は14.5%になるものと予測されており、将来その市場拡大が確実視されている。

しかしながら、この新たな育種技術に対する国の対応は様々である。アメリカでは、2018年3

*立命館大学大学院経済学研究科 博士課程前期課程2021年度修了生

†立命館大学経済学部

月に、農務省長官がゲノム編集による植物育種技術を規制対象としない方針を示した。一方その数カ月後の7月、EUでは逆に、欧州司法裁判所が、ゲノム編集など新規の突然変異誘発技術は遺伝子組み換え技術と見なされるべきであり、原則としてEUの遺伝子組み換え規制の適用を受けるとの裁定を下した（立川，2019；Court of Justice of the European Union, 2018）。日本はその中間の姿勢をとり、厚生労働省は、従来の育種技術でも起こりうるようなリスクをもつゲノム編集技術については、従来育種技術と同じものであるとして、同省の安全審査を課さず、開発側には、概要が公表されることを認識の上で届出だけを求める方針をとっている（日本経済新聞，2019b；厚生労働省，2019）。中国では、研究開発そのものは活発に行われているものの、ゲノム編集食品の規制については、まだ非公式に検討がなされている段階にあり、その姿勢は不透明である（立川，2018）。

こうした中で、最近になって、非市場評価手法を使って、ゲノム編集食品に対する消費者の選好を分析する研究が現れ始めている。そこでは主に遺伝子組み換え食品との比較に焦点が置かれ、ゲノム編集食品に対する支払意思額は遺伝子組み換え食品とほぼ同等か、それより大きいという結果が得られている（Shew et al., 2018; Muringai et al., 2020; Marette et al., 2021）。しかしながら、これらの研究は欧米の消費者を対象とするものであり、中国の消費者を対象としたものは、著者の知る限りこれまでに存在しない。中国の消費者のゲノム編集食品に対する受容性が明らかになれば、それはその規制について明確な姿勢を示していない中国政府にとって、その是非を判断する重要な指標になるものと思われる。

そこで本研究では、選択型実験（Choice Experiments）を使って、中国の消費者のゲノム編集食品に対する選好を分析することでその受容性を見極める。評価対象としては、すでに中国国内でもCRISPR/Cas9により開発されている除草剤耐性を持つコメ（Sun et al., 2016）と、近年同じくCRISPR/Cas9を用いて開発されたβカロテンを高蓄積させたコメ（Endo et al., 2019）を用いる。後者は遺伝子組み換え技術を用いて開発されたゴールデンライスと呼ばれるものである（日本農業新聞，2021）。コメの属性は品種、産地、価格からなり、品種のレベルとしては、従来技術と遺伝子組み換え技術、そしてゲノム編集技術により作られた品種を、産地のレベルとしては、中国産とアメリカ産を設定する。上述の欧米の消費者を対象とした研究結果に従えば、中国においてもゲノム編集技術により作られたコメは、遺伝子組み換え技術によって作られたコメと無差別かそれよりも選好され、さらにはそれらの新しい育種技術により作られたコメよりも従来技術で作られたコメが選好されるという仮説が立てられる。しかしながら、欧米の消費者について言えることが中国の消費者についても同じとは限らない。この傾向が中国の消費者についても当てはまるのかどうか、当てはまるとしてもどれほどの価格差であれば、ゲノム編集食品が受け入れられるのかを示すことは、今後の中国におけるゲノム編集技術の規制方針の策定に向けて有用な情報を提供することになるだろう。

本論文の構成は次のとおりである。第2章ではゲノム編集技術を取り巻く現状を概観するとともに、先行研究をサーベイする。第3章では本研究で用いる選択型実験の概要と分析モデルを説明し、調査の概要と単純集計結果を考察する。第4章では効用関数と支払意思額の推定結果を示し、その含意を述べる。最後に第5章では結論と今後の課題を述べる。

2. ゲノム編集技術を取り巻く現状と先行研究のレビュー

2.1 従来からある育種技術

人類はこれまで、野生の植物を栽培したり、食べたりするのに適した性質を持つよう改良し、その技術を発展させてきた。こうした育種技術、あるいは品種改良は、遺伝子の変化によって生じる性質の変化を利用するものである（農業・食品産業技術総合研究機構, 2021）。あらゆる生物の細胞の中にはDNA（デオキシリボ核酸, deoxyribonucleic acid）が含まれ、それはA（アデニン）、T（チミン）、G（グアニン）、C（シトシン）の四つの塩基が様々な配列する形で構成される。そのDNAのうち、生物の性質や特徴などに大きく関与する部分を「遺伝子」と呼び、DNAがもつ遺伝情報全体を「ゲノム」という。遺伝子のDNA配列が変わると、たんぱく質の性質が変化したり、作られなかったりするため、その変異を人為的に起こすことで、食料として適した作物を生み出すことが可能になる（農業・食品産業技術総合研究機構, 2021；厚生労働省, 2020）。

この育種技術の中で最も古くからある方法が「交配」である。交配とは、生物の雌雄を人為的に受精、または受粉させることである（『デジタル大辞泉, JapanKnowledge』）。この技術は、求める性質を持つ異なる品種同士を交配し、それを繰り返すことで新たな品種を作り出そうとする。例えば、おいしくて病気に強い品種を作ろうとするとき、まずはおいしい品種と病気に強い品種を交配して、より優れた性質を持つ品種を選抜する。そして、その選抜された品種と他の優れた品種とをさらに交配し、その作業を繰り返すことで、安定的においしくて病気に強い品種を生み出すことを目指す（農業・食品産業技術総合研究機構, 2021）。

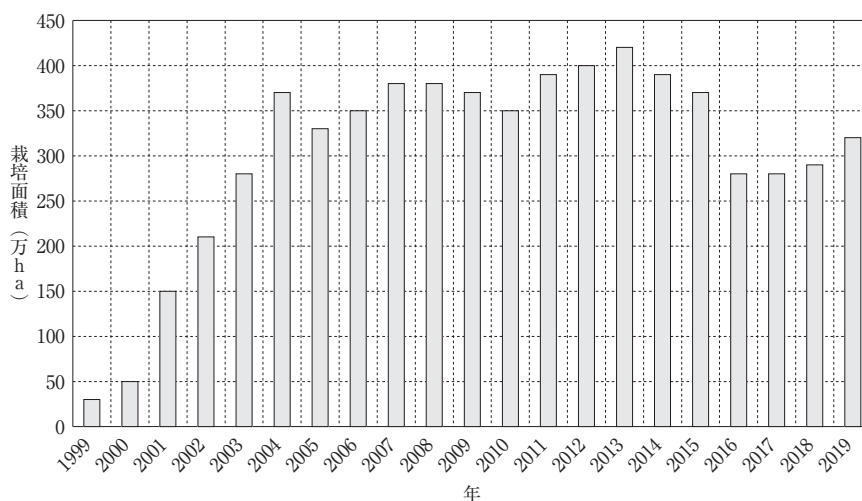
もう一つの従来からある育種技術が「突然変異」である。生物は、人間が手を加えない自然状態でも、低い頻度ではあるが遺伝的な突然変異を起こす。これを自然突然変異、あるいは偶発突然変異という（黒田, 1995）。しかしながら、食料に適した特性を持つような突然変異の自然発生をただ待つのは効率的ではない。そこでこの技術では、人間が放射線や化学物質などを作用させてDNAを切断する。生物は切断されたDNAを修復する仕組みを持っているが、その過程でエラーを起こして突然変異が起こる。こうして人為的に突然変異を誘発し、そこから求める性質を持つ品種を選抜しようとするのがこの突然変異の育種技術である（農業・食品産業技術総合研究機構, 2021）。なお、このように人間が手を加えて誘発させた突然変異を人為突然変異、または誘発突然変異という（黒田, 1995）。

これらの従来からある育種技術は、自然突然変異よりは効率的ではあるものの、一般に目的とする品種を作るまでに長い時間を要する。交配によって新しい品種が作られるまでには、イネでは約10年、果樹では何十年もかかるといわれている（農業・食品産業技術総合研究機構, 2021）。そこで近年、より効率的、計画的に求める品種を生み出すために、新たな育種技術が研究、開発された。その代表的なものが遺伝子組み換え技術とゲノム編集技術である。

2.2 遺伝子組み換え技術

「遺伝子組み換え」技術とは、ある生物が持つ遺伝子の一部を他の生物の細胞に導入すること

図2-1 中国における遺伝子組み換え作物の栽培面積の推移



出典：ISAAA（2019）をもとに筆者作成

で、その導入した遺伝子をもつ生物の特性を別の生物に持たせる技術を言う（農林水産省，2022：『デジタル大辞泉，JapanKnowledge』）。この遺伝子組み換え技術により作られた作物を一般に遺伝子組み換え作物と呼ぶ。1990年代後半にアメリカのモンサント社（2018年にドイツのバイエル社により買収）が開発した、自社の除草剤「ラウンドアップ」に耐性を持つ遺伝子組み換え作物に代表されるように、当初は、病害虫抵抗性、除草剤耐性など、農業生産者の栽培の簡略化や生産のコストダウンを目的にこの技術が開発された。こうした主に生産者にメリットがあるものを「第1世代遺伝子組み換え作物」という（農業生物資源研究所，2015）。一方でより近年では、ゴールデンライス（トウモロコシの遺伝子を組み込むことで、体内でビタミンAに変換されるβカロテンを多く含むよう作られたコメ）のように、人間の栄養改善や健康維持などを目的とする機能性を備えた遺伝子組み換え作物も開発されている（厚生労働省，2020）。こうした主に消費者にメリットがある遺伝子組み換え作物を「第2世代遺伝子組み換え作物」という（農業生物資源研究所，2015）。遺伝子組み換え技術は、第1世代であれ第2世代であれ、ある生物の遺伝子を他の生物に導入することから、自然界では起こりえない生物を人為的に作り出すことになるため、倫理面・安全面で消費者に大きな不安を残している（太田・秋田，2005；蔵田，2006）。

ISAAA（2019）の報告書によれば、遺伝子組み換え作物は、2019年時点で世界の29カ国に渡って、合計1億9040万 haの農地で栽培されている。2018年からはわずかに0.7%減少したものの、遺伝子組み換え作物の商業栽培が始まった1996年と比べれば、栽培規模は当初の112倍にも上る。中国の栽培面積は其中で7番目に位置しており、2019年時点で320万 haである。年次的な推移でみると、図2-1に示されるように、1999年から2013年までは増加傾向にあったが、その後減少に転じ、近年はまた増加傾向にある。また、2019年の中国における遺伝子組み換え食品の市場規模は約5000億元にも上っており、2012年から年率20%の水準で成長している（兔子的简笔画，2021）。

中国は、遺伝子組み換え技術の研究・開発には積極的である一方で、研究開発から流通・販売

に至るまで各段階を網羅して法規を設け、食品への活用を目的とした商業化には慎重な構えをとっている（日本経済新聞、2012）。中国で栽培されている遺伝子組み換え作物のほとんどが害虫抵抗性をもつ綿であり、コメ、トウモロコシといった穀物は、安全証明を受けているものの品種登録には至っていない（バイテク情報普及会、2018）。これは消費者の抵抗の大きさがその背景にあるものと考えられる。2001年に公布された「農業遺伝子組み換え生物安全管理条例」とその関連規則のもと、遺伝子組み換え食品の安全審査が行われており、大豆、トウモロコシ、ナタネ、綿、トマトには表示義務が課せられている（周・高橋、2015）。また、中国政府は遺伝子組み換えの大豆やトウモロコシの輸入を認めているが、搾油や家畜飼料などの利用に限定している（日本経済新聞、2012）。

2.3 ゲノム編集技術

「ゲノム編集」技術は、標的とする DNA を狙って切断し、その修復過程で起こる変異を誘発することで、その遺伝子を改変する技術である（山本、2019）。上述した放射線や化学物質などを使った従来の突然変異技術では、DNA の切断がランダムに起こるため、計画的な品種改良を行うことが難しい。それに対してゲノム編集技術では、ある特定の DNA 配列を切断することができるため、変異を促したい遺伝子に直接作用できる点で効率的だといえる。このゲノム中の特定の場所を切る「はさみ」の役割を担うのが、部位特異的ヌクレアーゼである。代表的なものに ZFN（ジンクフィンガーヌクレアーゼ）、TALEN（タレン）、CRISPR/Cas9（クリスパー・キャスナイン）があり、いずれも目指す遺伝子の DNA 配列を認識してそこで結合し、遺伝子を切断する（農業・食品産業技術総合研究機構、2021）。中でも、Jinek, et al. (2012) によって新しく開発された CRISPR/Cas9 は、簡便かつ高効率で、基礎研究であれば自由に使うことができたことから、論文発表後の2013年初頭以降、CRISPR/Cas9 を使ったゲノム編集が次々と報告され、2014年からは毎週のように論文が公表されている（山本、2019）。この技術を開発したアメリカのカリフォルニア大学バークレー校のジェニファー・ダウドナ教授と、フランス出身でドイツのマックスプランク感染生物学研究所のエマニュエル・シャルパンティエ所長は、その功績が称えられ、2020年のノーベル化学賞を受賞した（日本経済新聞、2020）。

ゲノム編集技術には三つのタイプが存在する。一つは、遺伝子を切断して変異を誘発するだけの SDN-1、二つめは、遺伝子を切断した上で、そこに変異を含む DNA 断片を導入する SDN-2、三つめは、遺伝子を切断してそこに外来の遺伝子を導入する SDN-3 である。日本の厚生労働省は、ゲノム編集技術を応用した食品のうち、外来遺伝子が残らないようにして改変させたもの、すなわち SDN-1 と SDN-2 については、開発者が届け出さえすれば、国の安全性検査を受けなくても流通・販売できるとする方針を発表した（パルシステム、2019；厚生労働省、2019）。SDN-3 は構造上遺伝子組み換え技術と同じ問題をもつため、安全性の審査が求められることになる。ただし、実際には SDN-2、SDN-3 の開発は技術的に難しく、現在商用栽培に向けて動いているのは SDN-1 だけである（農林水産技術会議、2019）。それゆえ、日本では事実上、ゲノム編集技術によって作られた作物のリスクは、自然界で起こりうる範囲のリスクと同等と認識されていることになる。

中国におけるゲノム編集食品の規制や安全性評価、およびその表示については、十分な情報が

なく、その姿勢は不透明である（立川，2018；農林水産省，2020）。自然界で起こりうる変異を誘導するという点では、日本の立場のように、自然界に存在しない生物を作る遺伝子組み換え技術よりは比較的安全な技術としてとらえる可能性はあるものの、遺伝子組み換え食品に対する消費者の根強い抵抗を見る限り、より慎重な姿勢をとることも考えられる。一方で、研究開発は活発に行われており、中島・近藤（2018）の集計によれば、食用と考えられるゲノム編集動植物に関する報告数は中国が圧倒的に多く、その数は2011年から2016年の間に急増している。こうした中で、2018年中国の南方科技大学の賀建奎・元副教授がゲノム編集で遺伝子を改変した人間の子供を誕生させた。このニュースは、瞬く間に世界中を駆け巡り、猛烈な批判を浴びた。広東省深圳市の裁判所は、2019年12月、「国家の科学研究と医療のルールを故意に破り、倫理道德の限度を超えた」として、賀氏に懲役3年の実刑判決を言い渡した（日本経済新聞，2018；日本経済新聞，2019a）。こうした状況は、中国の消費者のゲノム編集技術に対する不安を増強させている可能性がある。

2.4 先行研究のレビュー

現在のところ、ゲノム編集食品に対する消費者選好を分析した研究は極めて少ない。また既存の研究は欧米の消費者を対象とするものであり、中国の消費者を対象としたものは著者の知る限り存在しない。本研究は、中国の消費者に焦点を合わせ、そのゲノム編集食品に対する選好を明らかにする点で、新規性を備えた研究だといえる。

ゲノム編集食品に対する消費者の選好を分析した先行研究としては以下の三つがあげられる。Shew et al. (2018) は、アメリカ、オーストラリア、ベルギー、カナダ、フランスの消費者を対象に選択型実験を行い、除草剤耐性を持つコメに対する支払意思額を、CRISPR/Cas9によって作られたものと遺伝子組み換え技術によるものとの比較した。結果としては、CRISPR/Cas9も遺伝子組み換えも慣行農法によって作られたものよりも低く評価され、そのレベルは同程度であることが示された。Muringai et al. (2020) は、カナダの消費者を対象としてジャガイモを事例に選択型実験を行い、ゲノム編集、トランスジェニック GM（交雑不可能な異種生物の遺伝子組み換え）、シスジェニック GM（交雑可能な同一種間の遺伝子組換え）食品に対する消費者の受容性を分析した。その結果、カナダの消費者は、ゲノム編集、遺伝子組み換えとも、その食品の購入にはディスカウントを求めるが、ゲノム編集食品の方が比較的受け入れられることを実証した。Marette et al. (2021) は、切った後に時間がたっても茶色くならないリンゴを事例に、ゲノム編集と遺伝子組み換えのそれぞれにより作られたリンゴに対する支払意思額を CVM (contingent valuation method) を用いて計測した。アメリカとフランスの消費者との間で支払意思額を比較した結果、いずれの国においても、遺伝子組み換えリンゴに対しては、慣行農法によるリンゴを基準にして、大きなディスカウントが求められる一方で、ゲノム編集リンゴに対するディスカウントは比較的小さい傾向が導かれた。またその割引額は、アメリカの消費者の方が小さいことも示された。

ゲノム編集食品の評価研究は少ない一方で、遺伝子組み換え食品に対する消費者の選好を分析した研究事例は数多く存在する。Lusk et al. (2005) は、世界各国で計測された遺伝子組み換え食品に対する57の支払意思額の推定値から、その平均値がベース価格の約-42%であることを示した。さらに Dannenberg (2009) はより広い研究サーベイを行い、114の支払意思額の推定値か

らその金額が約-45%であることを示した。この支払意思額の大きさは、日本で報告された研究結果とも概ね整合している。竹下・浅野 (2002) は、遺伝子組み換え枝豆を事例に、分別されていない枝豆を基準として、非遺伝子組み換え枝豆に対する支払意思額をCVMを用いて計測した。その結果、人々は非遺伝子組み換え枝豆に対して35.5%高い金額を支払う意思があることが示された。寺脇 (2004) も同じくCVMを用いて、遺伝子組み換えでないトウモロコシから作られた油に対する支払意思プレミアムを計測した。その結果は、遺伝子組み換えトウモロコシ油が含まれている可能性がある油を避けるために、人々はそのベース価格の約42%を支払っても良いことを示している。また、竹下 (2003) は、ヘドニック法を用いて、非遺伝子組み換え豆腐の価値を計測し、その金額はベースとなる価格の27.1%であると推定した。

平均的には遺伝子組み換え食品に対する支払意思額はマイナスの値をとるものの、個別にみれば、とりわけ第2世代の遺伝子組み換え作物に対しては、プラスの支払意思額が計測されることもある。例えばCVMによりゴールデンライスに対する支払意思額を計測したLusk (2003) は、その支払意思プレミアムがベース価格の約25%であることを示している。また、Lusk et al. (2005) は、第1世代を対象とした非遺伝子組み換え食品に対する支払意思プレミアムは、第2世代を対象としたものよりも49%大きくなることを見出した。さらに、大谷・矢部 (2004) は、潜在クラスモデルを用いて第2世代遺伝子組み換え食品に対する日本の消費者の選好を分析し、平均的には人々はその食品に対して約-47.5%と負の支払意思額を持つものの、消費者の中に第2世代の遺伝子組み換え食品を選好するタイプとそれを避けようとするタイプが混在していることを明らかにした。

中国の消費者の遺伝子組み換え食品に対する選好を分析した研究も数多く存在する。Li et al. (2002) は、北京の消費者を対象にCVMを用いて遺伝子組み換えのコメと大豆油に対する選好を分析した。その結果、コメについては80%の人々が、大豆油については73%の人々が同じ価格であれば非遺伝子組み換え食品よりも遺伝子組み換え食品を購入するという結果が得られた。これは中国の消費者の遺伝子組み換え食品に対する肯定的な姿勢を示すものであるが、育種技術に対する認知度が極めて低かったことも報告されており、その知識レベルの低さがこうした結果を招いた可能性がある。De Steur et al. (2012) は、オークション実験により、胎児の神経管欠損症 (neural tube defects) の予防につながる葉酸強化米 (folate biofortified rice) に対する支払意思額を計測した。上海の妊婦を対象に行った実験の結果、この第2世代遺伝子組み換え食品に対して、人々は33.7%の追加的な支払意志を持つことが示された。一方で、Zheng et al. (2018) は、CVMを用いて、第1世代の遺伝子組み換えのコメ (Bt ライス) と第2世代のコメ (ゴールデンライス)、そしてそれらの両方の特性をもつコメに対する支払意思額を計測、比較した。中国都市部の15の省、49の市に住む消費者を対象に行った調査の結果、人々はそれぞれの遺伝子組み換えのコメに対して、順に31%、34%、36%の割引を求めることが示された。この結果に従えば、中国の消費者は、第1世代だけでなく、第2世代についても遺伝子組み換え食品に対してネガティブな評価をもっていることになる。Zhang et al. (2021) は、遺伝子組み換え大豆油の健康・栄養情報を伝える様々なラベルに対する中国の消費者の選好を分析した。選択型実験を用いて、アレルギーの表示、栄養成分変化の表示、そしてトレーサビリティの表示に対する支払意思額を計測したところ、トレーサビリティの表示が最も高く評価され、ついでアレルギーの表示が高

く評価される結果となった。

3. 分析手法とデータ

3.1 選択型実験と分析モデル

本研究では、中国の消費者のゲノム編集食品に対する選好を分析するために選択型実験を用いる。この手法は、マーケティングリサーチの分野などで使われるコンジョイント分析の一種であり、Lancaster (1966) 型の消費者理論に従い、消費者は商品そのものからではなく、その商品を構成する各属性から効用を得ると考える。この考え方に基づいて、商品の属性を変数としてもつ効用関数を推定することがこの手法の目的である。効用関数の推定にはサーベイデータが用いられ、調査者は仮想的に作られた属性レベルの異なる複数の商品（プロファイル）を提示し、被験者にはその中で最も望ましいものを選択してもらう。この調査により得られたデータを、後述する条件付きロジットモデル（Conditional Logit Model）を基礎とした計量経済モデルで分析することによって、目的とする効用関数が推定される（栗山・庄子, 2005）。こうした表明選好型のデータには信頼性に対する懸念が常に付きまとうが、選択型実験は現実の購買場面に近い状況を作り出すことからその信頼性の高さが期待され、顕示選好データにより得られる結果と有意な差がないことが報告されている（Adamowicz et al., 1998; Carlsson and Martinsson, 2001）なお、選択型実験では通常一人の被験者につき複数回異なる選択状況が提示される。それゆえ、得られる標本サイズは、欠損値がなければ被験者数×選択状況数となる（倪・寺脇, 2018）。

選択型実験では、条件付きロジットモデルがその分析の基礎に置かれることが多い（Louviere and Woodwarth, 1983）。いま、 N 人の被験者を対象に K 個の選択集合の中から一つを選ぶ質問をそれぞれ T 回繰り返す選択型実験を行うものとする。ここで、個人 n が t 番目の選択状況において商品 k を選択したときの効用を U_{nkt} とし、次の確率効用モデルを仮定する。

$$U_{nkt} = V_{nkt} + \varepsilon_{nkt} = \beta_n' \mathbf{x}_{nkt} + \varepsilon_{nkt}, \quad n=1, \dots, N, \quad k=1, \dots, K, \quad t=1, \dots, T \quad (3.1)$$

ただし、 V_{nkt} は商品 k を選択したときに得られる効用の観察可能な部分、 ε_{nkt} は選択肢に渡り独立で同一の分布を持つ観測不可能な確率誤差項を表す。 n と t の添え字は、それぞれ個人と選択状況を識別している。 \mathbf{x}_{nkt} は価格を含む商品 k の属性ベクトル、 β_n は個人 n に固有の係数パラメータベクトルを表す。もし β_n が個人に渡って均一であり、かつ ε_{nkt} が互いに独立なガンベル分布（第一種極値分布）に従うならば、個人 n が t 番目の選択状況において商品 j を選択する確率 P_{njt} は次式で表される。

$$P_{njt} = \frac{\exp(\beta_n' \mathbf{x}_{njt})}{\sum_k \exp(\beta_n' \mathbf{x}_{nkt})} \quad (3.2)$$

さらに、個人 n の T 回に渡る一連の選択確率は次のように表される。

$$P_n = \prod_t \frac{\exp(\beta_n' \mathbf{x}_{nj(n,t)t})}{\sum_k \exp(\beta_n' \mathbf{x}_{nkt})} \quad (3.3)$$

ただし、 $j(n, t)$ は個人 n が t 番目の選択状況において選択する商品を表している。この確率をもとにして尤度関数を作成し、最尤法によりパラメータを推定するモデルが条件付きロジットモデルである (栗山・庄子, 1999; 吳・寺脇, 2018)。

これに対して、商品属性に対する選好は個人間で異なるものとし、そのばらつきを考慮に入れたモデルがランダムパラメータロジットモデル、あるいは混合ロジットモデル (Mixed Logit Model) と呼ばれるモデルである。そこでは、係数パラメータ β_n は確率的に変動するものと仮定され、(3.3)式の確率は、与えられた β_n のもとでの条件付き確率として解釈される。いま、 θ をディープパラメータとして、 β_n は密度関数 $f(\beta_n | \theta)$ に従って確率的に分布するものとしよう。このとき、個人 n の T 回に渡る一連の (条件付きでない) 選択確率は次のように修正される。

$$P_n = \int \prod_t \frac{\exp(\beta_n' \mathbf{x}_{nj(n,t)t})}{\sum_k \exp(\beta_n' \mathbf{x}_{nkt})} f(\beta_n | \theta) d\beta_n \quad (3.4)$$

この確率をもとに尤度関数を作ることは理論上可能であるが、推定を実行可能なものとするため、尤度関数には一般に $f(\beta_n | \theta)$ に従ってシミュレートされた以下の疑似確率が使われる。

$$SP_n = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R P_n(\beta^{r|\theta}) \quad (3.5)$$

ここで、 R は抽出回数、 $\beta^{r|\theta}$ は $f(\beta_n | \theta)$ から r 番目に抽出されたパラメータベクトルである。また(3.5)式内の P_n は(3.3)式に従って計算される。この確率をもとにシミュレートされた対数尤度関数 (Simulated Log-Likelihood Function) が作られ、その最大化によってパラメータが推定される (Train, 2009; 吳・寺脇, 2018)。

実証研究では、しばしばランダムパラメータ β_n は正規分布に従うと仮定される (Gracia, Loureiro, and Nayga Jr., 2009)。 β_n を構成する各選好 (係数) パラメータ間の相関を考慮すれば、その分布は、平均ベクトル β 、分散共分散行列 Σ の多変量正規分布となる。このとき、 $\Sigma = \Gamma \Gamma'$ を満たすコレスキー行列 Γ を用いて、 β_n は $\beta + \Gamma \mathbf{v}$ で表される。ただし \mathbf{v} は平均ベクトルが0、共分散行列が単位行列の多変量標準正規分布に従う確率変数のベクトルである。このコレスキー行列の下三角成分 (対角成分を除く) が有意となれば、各商品属性に対する選好間の従属性が支持される (Scarpa and Del Giudice, 2004)。もしランダムパラメータ間の相関がなければ、コレスキー行列は対角行列となり、その対角成分は各選好パラメータの標準偏差を表すことになる (吳・寺脇, 2018)。

加えて、本分析では、各商品から得られる効用間の相関を考慮した、誤差要素ランダムパラメータロジットモデル (Error Component Random Parameter Logit Model) による推定も行う。多くの選択型実験のデザインに見られるように、被験者が直面する選択肢の中には通常「どれも買わない」が含まれる。本調査でもその選択肢と仮想的な二つの商品の三つの選択肢を提示して、被験者はその中から一つを選択するデザインを採用した。誤差要素ランダムパラメータロジットモデルは、仮想的な商品から得られる二つの効用に、「どれも買わない」を選択することからの効用には含まれない確率的な誤差要素が共通して含まれることを仮定することで、その効用間の相関を考慮するモデルである (Scarpa et al., 2007; 吳・寺脇, 2018)。

表3-1 プロファイルの属性とレベル

属性	レベル
品種	従来, 遺伝子組み換え, ゲノム編集
産地	中国産, アメリカ産
価格	30元, 50元, 70元, 90元

3.2 実験デザイン

本調査における評価対象はコメ（5kg）である。ゲノム編集技術、および遺伝子組み換え技術により作られた品種としては、除草剤耐性を持つコメ（除草剤耐性米）とβカロテンを高蓄積させたコメ（高βカロテン米/ゴールデンライス）の二つを考え、それぞれについて選択型実験の質問を用意した。前者は第1世代の遺伝子組み換え食品、後者は第2世代の遺伝子組み換え食品として代表的なものであり、それぞれCRISPR/Cas9を用いたゲノム編集技術でも開発が進められている（Sun et al., 2016; Endo et al., 2019）。

プロファイルを構成する属性としては、(1)品種、(2)産地、(3)価格の三つを設定した。それぞれの属性の水準は表3-1のとおりである。まず、品種の属性水準については、「従来」、「遺伝子組み換え」、「ゲノム編集」と設定した。これらの技術により作られたコメの品種間で、消費者の選好に違いがあるかどうか、そして従来品種を基準として、遺伝子組み換え食品、ゲノム編集食品に対して人々はいくらまで支払う意思をもつのかを明らかにすることが本分析の主要な目的である。次に産地の水準については、「中国産」、「アメリカ産」と設定した。アメリカ産を比較対象として設定したのは、アメリカが世界で最も多く遺伝子組み換え作物を栽培しており（ISAAA, 2019）、またゲノム編集食品の開発にも積極的な国だからである。中島・近藤（2018）の集計によれば、食用と考えられるゲノム編集動植物の報告数について、中国に次いで多かったのがアメリカであった。また、2020年の中国におけるアメリカからのコメの輸入額は3万1000ドルで、全体の0.0021%にしか過ぎないが、2019年からの増加率ではアメリカが最も大きく、前年の520%に上る（Workman, 2021）。近年中国では、価格や食味などの面でアメリカのコメの競争力が高まっており、また政府間の貿易協定の影響もあって、今後その輸入の拡大が予想されている（財新Biz & Tech, 2020）。最後に価格については、中国で実際に販売されているコメの価格を参考にしながら、「30元」、「50元」、「70元」、「90元」と設定した。

これらの属性と水準を様々に組み合わせるプロファイルを作成する。選択型実験では、しばしば異なるプロファイルを二つ並べ、「どちらも買わない」を含めて、三つの選択肢の中から一つを選ぶ質問を被験者に複数回繰り返す。本分析では、ベイジアンD最適設計（Kessels et al., 2011）を用いて、除草剤耐性米と高βカロテン米のそれぞれについて、10個の選択型質問を作成した。それゆえ1人の被験者は、合計20個の選択型質問に回答することになる。

作成したプロファイルと選択型質問の一覧は表3-2の通りである。その質問の一例を図3-1に示す。後述するように、被験者はこの質問に入る前に、「DNA」、「ゲノム」、「遺伝子」といった用語や、「交配」、「突然変異」、「遺伝子組み換え」、「ゲノム編集」の各育種技術の説明を受け、それらに対する認知度を質問されている。それゆえ、選択型質問に含まれる品種属性の水準については、被験者はその意味を理解しているものと思われる。さらに選択型質問では、チープ

表3-2 プロファイル一覧

質問	品種	産地	価格
1	遺伝子組み換え	中国	50元
1	ゲノム編集	中国	90元
2	ゲノム編集	中国	50元
2	遺伝子組み換え	アメリカ	70元
3	従来	アメリカ	70元
3	遺伝子組み換え	中国	50元
4	ゲノム編集	アメリカ	30元
4	従来	アメリカ	90元
5	ゲノム編集	中国	70元
5	遺伝子組み換え	アメリカ	50元
6	従来	中国	50元
6	遺伝子組み換え	中国	70元
7	遺伝子組み換え	アメリカ	30元
7	ゲノム編集	アメリカ	50元
8	ゲノム編集	アメリカ	30元
8	遺伝子組み換え	中国	70元
9	従来	中国	70元
9	ゲノム編集	中国	90元
10	遺伝子組み換え	アメリカ	90元
10	ゲノム編集	アメリカ	70元

出典：筆者作成

図3-1 選択型質問の一例（除草剤耐性米の場合）

問7 以下では（1）品種、（2）産地、（3）価格、の3つの特性がそれぞれ異なるコメ（5kg）が2つずつ登場します。あなたが買いたいと思う方の番号に○をつけてください。どちらも買いたくなくなれば、「3」に○をつけてください。

なお、ここで考える3つの特性には、次のものが含まれます。

（1） <u>品種</u> は、次の3つのタイプのいずれかです。
<ul style="list-style-type: none"> ● 従来：遺伝子組み換え技術もゲノム編集技術も使わない、従来のコメ ● 遺伝子組み換え：遺伝子組み換え技術により作られた除草剤耐性があるコメ ● ゲノム編集：ゲノム編集技術により作られた除草剤耐性があるコメ
（2） <u>産地</u> は、中国産か、アメリカ産のいずれかです。
（3） <u>価格</u> は、30元、50元、70元、90元のいずれかです。

仮想的な質問ですが、これらの商品が本当にお店の陳列棚に並んでいて、自分の財布からお金を出してそれを購入する場面を具体的にイメージしながらお答えください。また、同じような質問が10回続きますが、すべての質問にお答えください。

	コメA	コメB	1つに○を→
品種	遺伝子組み換え（除草剤耐性）	ゲノム編集（除草剤耐性）	
産地	中国	中国	
価格（5kg）	50元	90元	
	↓	↓	↓
	1	2	3

出典：筆者作成

トークにより、被験者に実際に店舗にいて、自分の財布からお金を出してコメを購入する場面をイメージしてもらった。これにより、仮想バイアスを小さくする効果が期待される（氏家, 2016）。

3.3 データ

本研究では、中国のネットリサーチ会社「門卷星 (<https://www.wjx.cn/>)」にアンケート調査を依頼し、上述した効用関数の推定に必要なデータを収集した。調査は2021年11月22日から3日間に渡ってオンラインで実施され、江蘇省、吉林省、青海省、浙江省から合計371人のサンプルを得た。調査票には、選択型実験の質問だけでなく、育種技術の認知度、ゲノム編集技術と遺伝子組み換え技術に対する安全面・倫理面での評価、除草剤耐性米と高βカロテン米の認知度、そして個人の社会経済属性を問う質問も含まれる。

表3-3は、被験者の社会経済属性を整理したものである。性別については、男性が61.5%、女性が38.5%と、やや男性に偏る結果となった。年代については、20代が46.4%と最も多く、ついで30代が25.6%を占めている。50代以上の被験者は一人もいないことから、当サンプルは比較的若い層に偏ったものだといえる。職業については、最も多かったのは会社職員で18.6%であった。次いで公務員が18.1%、学生が14.0%を占める。被験者の職業は比較的散らばっており、特定の業種に集中するものではなかった。学歴についてみると、高校卒以上が92.5%、大学卒以上が63.8%を占めている。被験者の6割以上が大学の高等教育を受けた人々ということになり、比較的高学歴のサンプルだといえる。年収については、10万～15万元が最も多く、35.3%を占める。次いで多いのが年収3万元未満で20.5%を占めるが、当サンプルの14.0%は学生であることから、社会人に限定すればその割合は6%程度だと思われる。中国国家统计局（2021）より、中国の平均年収は3万5128元であることを考えれば、当サンプルにおいて貧困層の割合は極めて小さいといえる。

3.4 育種技術の認知度と安全面・倫理面の評価

表3-4に示されるように、人々の育種技術に対する認知度は、従来技術と新しい技術の間で大きく異なっている。「用語の意味まで知っている」、「用語だけ知っている」人の割合でみれば、「交配」、「突然変異」、「遺伝子組み換え」、「ゲノム編集」のいずれも75%～80%の認知度を示しており、用語自体は広く認知されていることがわかる。しかしながら、「用語の意味まで知っている」人に限定すれば、「交配」が26.7%、「突然変異」が21.0%であるのに対して、「遺伝子組み換え」が15.9%、「ゲノム編集」が12.4%となり、従来の育種技術に比べて新しい育種技術の認知度は低いといえる。

これらの育種技術に関する認知度の質問は、それらの用語の認知度を測るだけでなく、被験者に育種技術の用語の意味を伝える役割を果たす。被験者はこれらの質問に答えることで、育種技術に関する用語を理解し、その上で以後の質問に回答することが期待される。なお、これらの質問の前に「DNA」、「ゲノム」、「遺伝子」の認知度を尋ねており、いずれも60%前後の被験者がこれらの用語を知っていると回答した。

新しい育種技術の安全面については、遺伝子組み換え食品は比較的 안전한食品として認識されている一方で、ゲノム編集食品は比較的危険な食品として認識されている。表3-5に示される

表3-3 被験者の社会経済属性

項目	内 容	度数	%
性別	男性	228	61.5%
	女性	143	38.5%
年代	10代	52	14.0%
	20代	172	46.4%
	30代	95	25.6%
	40代	52	14.0%
	50代	0	0.0%
	60代	0	0.0%
	70歳以上	0	0.0%
職業	専門家（教師・医師・弁護士等）	32	8.6%
	サービス業従事者（レストラン従業員・運転手等）	29	7.8%
	フリーター（作家・芸術家等）	21	5.7%
	労働者	37	10.0%
	会社職員	69	18.6%
	事業者/雇用者	17	4.6%
	小規模業者/自営業者	14	3.8%
	公務員	67	18.1%
	学生	52	14.0%
	専業主婦（夫）	18	4.9%
	農民/牧畜民/漁師	9	2.4%
	無職者	6	1.6%
その他	0	0.0%	
学歴	小学校卒以下	0	0.0%
	中学校卒	28	7.6%
	高校卒	40	10.8%
	専門学校卒	66	17.8%
	大学卒	178	48.0%
	大学院卒（修士）	59	15.9%
	大学院卒（博士）	0	0.0%
年収	3万円未満	76	20.5%
	3万～5万円	14	3.8%
	5万～8万円	48	12.9%
	8万～10万円	22	5.9%
	10万～15万円	131	35.3%
	15万～20万円	53	14.3%
	20万～25万円	27	7.3%
	25万元以上	0	0.0%

出典：筆者作成

表3-4 育種技術の認知度

	交配		突然変異		遺伝子組み換え		ゲノム編集	
	度数	%	度数	%	度数	%	度数	%
用語の意味まで知っている	99	26.7%	78	21.0%	59	15.9%	46	12.4%
用語だけ知っている	182	49.1%	218	58.8%	228	61.5%	250	67.4%
知らなかった	90	24.3%	75	20.2%	84	22.6%	75	20.2%
合計	371	100.0%	371	100.0%	371	100.0%	371	100.0%

出典：筆者作成

表3-5 新しい育種技術の安全面の評価

	遺伝子組み換え		ゲノム編集	
	度数	%	度数	%
安全だと思う	19	5.1%	17	4.6%
どちらかといえば安全だと思う	69	18.6%	31	8.4%
どちらともいえない	152	41.0%	150	40.4%
どちらかといえば危険だと思う	18	4.9%	68	18.3%
危険だと思う	11	3.0%	15	4.0%
わからない	102	27.5%	90	24.3%
合計	371	100.0%	371	100.0%

出典：筆者作成

ように、「安全だと思う」、「どちらかといえば安全だと思う」と回答した人の割合は、遺伝子組み換え食品についてはそれぞれ5.1%、18.6%を占め、合計23.2%がポジティブに評価していたのに対して、ゲノム編集食品については「安全だと思う」が4.6%、「どちらかといえば安全だと思う」が8.4%となり、その合計は13.0%にとどまった。一方で、「危険だと思う」、「どちらかといえば危険だと思う」の割合は、遺伝子組み換え食品についてはそれぞれ3.0%、4.9%で合計7.9%となり、ゲノム編集食品については順に4.0%、18.3%で合計22.3%であった。「どちらともいえない」、「わからない」と答えた人の割合は、遺伝子組み換え食品についてはそれぞれ41.0%、27.5%、ゲノム編集食品については40.4%、24.3%となり、遺伝子組み換え食品とゲノム編集の間でほとんど差がみられない。

これらの結果は、遺伝子組み換え食品については安全性の審査が行われているが、ゲノム編集食品についてはそれが行われていない実態を反映するものかもしれない。第2章で述べたように、遺伝子組み換え技術は、外来生物の遺伝子を組み込むことで自然界には存在しない食品を作り出しうるが、ゲノム編集技術は、現在の技術レベルでは、自然界で起こりうる突然変異しか誘発しないため、直感的にはゲノム編集食品の方が安全であるように思われる。しかしながら、その影響は未知の領域にあり、これらの結果は、ゲノム編集食品の安全性が確認されていないことに対して、中国の人々が不安を覚えている現状を浮き彫りにする。

倫理面についても、遺伝子組み換え技術が生命倫理に反しないものと認識されているのに対して、ゲノム編集技術は倫理的に大きな問題があるものとして認識されている。表3-6に示され

表3-6 新しい育種技術の倫理面の評価

	遺伝子組み換え		ゲノム編集	
	度数	%	度数	%
安全だと思う	0	0.0%	143	38.5%
どちらかといえば安全だと思う	18	4.9%	56	15.1%
どちらともいえない	127	34.2%	149	40.2%
どちらかといえば危険だと思う	114	30.7%	0	0.0%
危険だと思う	38	10.2%	0	0.0%
わからない	74	20.0%	23	6.2%
合計	371	100.0%	371	100.0%

出典：筆者作成

るように、遺伝子組み換え食品について生命倫理に「反すると思う」人はおらず、「どちらかといえば反すると思う」と回答した人はわずかに4.9%であった。一方で「反しないと思う」、「どちらかといえば反しないと思う」と答えた人はそれぞれ全体の10.2%、30.7%を占めており、遺伝子組み換え技術を生命倫理に反しないと思っている人が圧倒的に多い結果となった。ゲノム編集については、全くその逆の傾向を示している。生命倫理に「反すると思う」人は38.5%、「どちらかといえば反すると思う」人は15.1%を占め、合計で53.6%となるのに対して、「反しないと思う」、「どちらかといえば反しないと思う」と答えた人は一人もいなかった。「どちらともいえない」が40.2%を占めるものの。「わからない」と答えた人はわずかに6.2%であり、中国の人々は明確にゲノム編集技術を自然・生命倫理に反するものと認識していることがわかる。

ゲノム編集技術が倫理的に問題があるものとして認識されていることの背景には、やはり第2章で述べた2018年にゲノム編集により生まれた子供のニュースが大きく影響しているものと思われる（日本経済新聞、2018；日本経済新聞、2019a）。上述の通り、遺伝子組み換え技術は自然界には存在しない食品を作り出しうるため、その点ではゲノム編集よりも遺伝子組み換え技術の方が倫理的に問題があるように思われる。しかしながら、図2-1で示したように、中国で遺伝子組み換え作物が栽培されるようになってから20年以上が経過しており、それに伴って、安全性と併せて倫理面でもこの技術に対する中国の人々の抵抗感は比較的小さくなってきているのかもしれない。

4. 推定結果と考察

4.1 効用関数の推定結果

本分析では、コメの属性に関する効用関数の観察可能な主効果部分を次のように定式化する。

$$V = (\beta_{GE}GE + \beta_{GM}GM + \beta_{CN}CHINA + \beta_PPRICE) * (1 - NOTBUY) + \beta_NNOTBUY \quad (4.1)$$

各変数の定義は表4-1に示すとおりである。ここで、図3-1のような質問において、被験者

表 4-1 変数の定義

変 数	定 義
<i>GE</i>	ゲノム編集=1, その他=0
<i>GM</i>	遺伝子組み換え=1, その他=0
<i>CHINA</i>	中国産=1, アメリカ産=0
<i>PRICE</i>	価格（人民元）
<i>NOTBUY</i>	どちらも買わない=1, 買う=0

出典：筆者作成

が A か B のいずれかのコメを選択するとき、*NOTBUY*=0 より、その購入から得られる効用は次式で表される。

$$V = \beta_{GE}GE + \beta_{GM}GM + \beta_{CN}CHINA + \beta_PPRICE \quad (4.2)$$

一方で「どちらも買わない」を選択するとき、そのときの効用は、*NOTBUY*=1 より $V = \beta_N$ となる。したがって、コメ A、B の各プロファイルに対応する変数の値を (4.2) 式に代入すれば、それはそれらのコメの購入から得られる効用を表すものとなり、それよりも β_N の方が大きければ、その人は「どちらも買わない」を選択するものと解釈される。

なお、ランダムパラメータロジットモデルでは、*PRICE* と *NOTBUY* を除く変数の係数については、それらが多変量正規分布に従うことを仮定した。*PRICE* と *NOTBUY* については、先行研究に従い、それらを非確率パラメータとした (Ubilava and Foster, 2009; Ortega et al., 2011; Wu et al., 2014; 倪・寺脇, 2018)。

除草剤耐性米に関する効用関数の推定結果は表 4-2 に示される。誤差要素ランダムパラメータロジットモデルの確率要素は 10% 水準で有意とはならず (p 値=0.9791)、通常のランダムパラメータロジットモデルの AIC が最も小さかったことから、ここではランダムパラメータロジットモデルの結果を採択し、そのパラメータの符号と有意性を考察する。

まず、確率パラメータの平均は全て 1% 水準で有意となった。*GE* (ゲノム編集) と *GM* (遺伝子組み換え) の係数に注目すると、それらはいずれもマイナスの値をとっている。これは中国の消費者は、これらの新しい育種技術により作られたコメよりも、従来からある育種技術により作られたコメを選好することを示しており、その点では第 2 章で述べた先行研究と一貫した傾向を示している。しかしながら、ゲノム編集と遺伝子組み換えとの間の比較では、その結果は欧米で得られた先行研究の結果と異なっている。*GE* と *GM* の係数の値はそれぞれ -3.1675 、 -0.9671 となっており、ゲノム編集のコメから得られる効用は、遺伝子組み換えのコメから得られる効用よりも小さい。後述するように、これはゲノム編集のコメに対する支払意思額が、遺伝子組み換えのコメに対する支払意思額を下回ることを含意する。第 2 章で述べたように、欧米の消費者を対象とした先行研究では、ゲノム編集技術により作られたコメは、遺伝子組み換え技術によって作られたコメと無差別かそれよりも選好される結果が得られた。中国の消費者はこれと逆の傾向を示しており、ゲノム編集技術に対する強い抵抗感が読み取られる。次に、*CHINA* (中国産) の係数はマイナスとなった。この結果は、除草剤耐性米については、中国の消費者は国産のコメよりもアメリカ産の米をより選好することを意味する。これは、中国の消費者が、中国

表4-2 効用関数の推定結果（除草剤耐性米）

変数	条件付きロジット	ランダムパラメータ ロジット	誤差要素ランダム パラメータロジット
	推定値	推定値	推定値
確率パラメータ			
平均			
<i>GE</i>	-2.7113(0.0962)***	-3.1675(0.1485)***	-3.1675(0.2232)***
<i>GM</i>	-0.9567(0.0664)***	-0.9671(0.0680)***	-0.9671(0.1060)***
<i>CHINA</i>	-0.3679(0.0602)***	-0.3590(0.0637)***	-0.3590(0.0823)***
コレスキー行列の対角成分			
<i>GE</i>		1.2333(0.1311)***	1.2331(0.2162)***
<i>GM</i>		0.0036(0.0743)	0.0035(0.8114)
<i>CHINA</i>		0.0269(0.1067)	0.0277(0.4322)
コレスキー行列の下三角成分（対角成分除く）			
<i>GM</i> : <i>GE</i>		-0.2235(0.0609)***	-0.2234(0.1092)***
<i>CHINA</i> : <i>GE</i>		0.3010(0.0736)***	0.3008(0.0920)***
<i>CHINA</i> : <i>GM</i>		0.0192(0.1144)	0.0188(0.7447)
非確率パラメータ			
<i>PRICE</i>	-0.0335(0.0017)***	-0.0340(0.0018)***	-0.0340(0.0024)***
<i>NOTBUY</i>	-2.7162(0.1347)***	-2.7529(0.1383)***	-2.7531(0.2034)***
誤差要素			0.0073(0.2767)
対数尤度	-3250.8	-3221.7	-3221.7
AIC	6511.7	6465.5	6467.5
調整済み疑似R ²	0.147	0.154	0.154
標本サイズ	3710	3710	3710

注1：括弧内の値は標準誤差を示す。

注2：*、**、***はそれぞれ10%、5%、1%水準で有意であることを表す。

出典：筆者作成

国内で除草剤耐性米が作られるときに、除草剤が過剰に使われることを心配する傾向を表すものかもしれない。除草剤耐性米は、除草剤の散布によって周りの雑草は駆除されるが、その作物自身の生育には被害が及ばないコメであり、その特性ゆえにしばしば除草剤が過剰に使われるものと誤解されがちである（バイオインダストリー協会、2006）。実際には、特定の除草剤の使用は増えるかもしれないが、効率的な除草剤散布が可能になるため、除草剤耐性作物が導入されて以来、世界的に除草剤使用量は減少している（有井・山根、2006；農業環境技術研究所、2010）。しかしながら、中国国内だけに限定すれば、必ずしも除草剤の使用量が減少するとはいえず、また近年、中国の消費者は国内農産物の残留農薬の問題に対して強い関心を示していることから（Wang, 2018）、中国の消費者がその過剰使用を不安視する可能性は否定できない。

次に、確率パラメータのコレスキー行列の各成分に注目しよう。対角成分については、*GE*のみが1%水準で有意となった。この結果はゲノム編集に対する選好は個人間で異なることを示している。上述の通り、今回平均的には中国の消費者のゲノム編集技術に対する強い抵抗感が観察されたが、その選好は多様であり、中には抵抗感が小さい人も存在することが示された。一方下三角成分については、*GE*と*GM*の間で負の値を、*GE*と*CHINA*の間で正の値をとり、いずれも1%水準で有意となった。前者は、ゲノム編集と遺伝子組み換えに対する選好が互いに負の相

関を持つことを意味している。この結果は中国の消費者の間で新たな育種技術に対する理解にばらつきがあることを示唆する。第2章で述べた通り、ゲノム編集技術により作られる作物は基本的に自然界で生み出されうるものであり、一般には自然界に存在しない生物を作り出す遺伝子組み換え作物よりも安全で、倫理的にも受け入れられやすいものと認識される。このことを正しく理解している人々は、ゲノム編集技術を相対的に安全なものとして認識し、遺伝子組み換え技術により作られた作物を避けようとするだろう。一方でその理解が不十分である人々は、ゲノム編集技術により人間の子どもを誕生させたセンセーショナルな事件に不安を感じ、ゲノム編集技術に過剰な抵抗感を覚え、聞きなれた遺伝子組み換え技術を相対的に安全なものとして認識した可能性がある。結果、ゲノム編集技術と遺伝子組み換え技術に対する選好は負に相関され、ゲノム編集に対する選好の多様性は、負の相関を持ちながら遺伝子組み換えに対する選好の多様性を同時に生み出すことになる。同様に、後者であるゲノム編集と中国産に対する選好の正の相関もまた、新たな育種技術に対する理解のばらつきを反映しているものと解釈される。上述の通り、除草剤耐性米についてはその栽培によって除草剤使用量が増加すると誤解されがちである。新たな育種技術を正しく理解していない消費者は、ゲノム編集技術に過剰な抵抗感を持つと同時に、中国産の除草剤耐性米の危険性をより大きなものとして認識した可能性がある。

最後に、非確率パラメータについても合理的な結果が得られている。*PRICE*の符号は負であり、それは人々が価格の安い商品を選択するという自然な傾向を表している。*NOTBUY*については、それは単に買うか買わないかを識別する効用の基準値を示すものであり、その符号は重要な意味を持たない。

続いて、表4-3に示される高 β カロテン米に関する効用関数の推定結果を考察する。このケースにおいても誤差要素ランダムパラメータロジットモデルの確率要素は10%水準で有意とはならず (p 値=0.8850)、AICが最も小さいランダムパラメータロジットモデルを採択する。

確率パラメータの平均のうち、*GE* (ゲノム編集) と *GM* (遺伝子組み換え) の係数はいずれも1%水準で有意となり、両係数の符号、およびその大小関係については、除草剤耐性米と同様の傾向が示された。それらはいずれもマイナスであることから、中国の消費者は、これらの新しい育種技術により作られたコメよりも、従来からある育種技術により作られたコメを選好しており、また *GE* と *GM* の係数の値がそれぞれ -4.3599 、 -0.8230 であったことから、ゲノム編集のコメよりも、遺伝子組み換えのコメをより選好するといえる。これらの結果より、第1世代、第2世代に関わらず、中国の消費者はゲノム編集、遺伝子組み換え、従来技術の順でコメを選好し、欧米の消費者とは異なる選好構造を持つことが結論付けられる。一方で、産地に対する選好については、除草剤耐性米とは異なる傾向が示された。高 β カロテン米に関する効用関数では、*CHINA* (中国産) の係数はプラスとなり、中国の消費者はアメリカ産よりも中国産を好む傾向が得られた。これは、除草剤耐性米とは異なって、高 β カロテン米の場合は健康被害が懸念される物質の過剰使用を心配する必要がないことから、国産米であることに対する安心感が強く表れた結果といえよう。近年中国政府は、国内農産物の安全性の確保に向けて、政策の実施や法律の整備を進め、消費者の不安を取り除く努力を重ねており、消費者の政府に対する信頼回復の兆しがうかがえる。また、除草剤耐性作物など第1世代の遺伝子組み換え食品が多国籍企業主導で開発、商業化されたのに対して、第2世代の遺伝子組み換え食品であるゴールデンライスは、公的

表4-3 効用関数の推定結果 (高 β カロテン米)

変数	条件付きロジット	ランダムパラメータ ロジット	誤差要素ランダム パラメータロジット
	推定値	推定値	推定値
確率パラメータ			
平均			
<i>GE</i>	-2.5124 (0.0962) ***	-4.3599 (0.2532) ***	-4.3607 (0.3781) ***
<i>GM</i>	-0.6112 (0.0678) ***	-0.8230 (0.0893) ***	-0.8226 (0.1176) ***
<i>CHINA</i>	0.2335 (0.0590) ***	0.1239 (0.0671) *	0.1239 (0.0713) *
コレスキー行列の対角成分			
<i>GE</i>		2.1841 (0.2027) ***	2.1840 (0.4199) ***
<i>GM</i>		0.0207 (0.1334)	0.0215 (0.3646)
<i>CHINA</i>		0.0698 (0.1187)	0.0747 (0.2590)
コレスキー行列の下三角成分 (対角成分除く)			
<i>GM : GE</i>		-0.9957 (0.0773) ***	-0.9956 (0.1051) ***
<i>CHINA : GE</i>		0.0963 (0.0700)	0.0961 (0.0759)
<i>CHINA : GM</i>		-0.0858 (0.1414)	-0.0804 (0.3535)
非確率パラメータ			
<i>PRICE</i>	-0.0459 (0.0018) ***	-0.0582 (0.0022) ***	-0.0583 (0.0025) ***
<i>NOTBUY</i>	-3.1025 (0.1363) ***	-3.9924 (0.1671) ***	-3.9927 (0.1903) ***
誤差要素			0.0269 (0.1862)
対数尤度	-3200.6	-2953.6	-2953.6
AIC	6411.2	5929.2	5931.1
調整済み疑似R ²	0.185	0.248	0.247
標本サイズ	3710	3710	3710

注1 : 括弧内の値は標準誤差を示す。

注2 : *, **, ***はそれぞれ10%, 5%, 1%水準で有意であることを表す。

出典 : 筆者作成

機関を中心に中国を含む国際協力プロジェクトとして開発が進められた (農業環境技術研究所, 2007)。こうした公益性が中国の消費者が国産の高 β カロテン米を選好する傾向を生み出した可能性もある。

確率パラメータのコレスキー行列の成分についても, *GE* と *GM* については除草剤耐性米と同様の傾向が得られた。対角成分については *GE* のみが1%水準で有意となり, 下三角成分については *GE* と *GM* の間で負の値が示された。これらは, 除草剤耐性米と同様に, 新たな育種技術に対する人々の理解のばらつきを反映するものと予想される。一方で, 除草剤耐性米では有意となった *GE* と *CHINA* の負の相関は高 β カロテン米では検出されなかった。上述の通り, 除草剤耐性米とは異なって, 高 β カロテン米については除草剤の過剰使用のような誤解が生まれる可能性は低い。それゆえ, 高 β カロテン米においては, 新たな育種技術に対する理解の程度が産地に対する選好に影響を与えなかったものと考えられる。

非確率パラメータの推定結果は, 除草剤耐性米と同じ傾向を示している。*PRICE* (価格) の係数の符号はマイナスとなり, 除草剤耐性米と同様に, 人々は安い価格の商品を選択するという自然な傾向が得られた。

表4-4 支払意思額の推定結果（除草剤耐性米）

属性	点推定値	区間推定値	
		95%信頼下限	95%信頼上限
ゲノム編集	-93.2	-104.1	-83.8
遺伝子組み換え	-28.5	-32.8	-24.5
中国産（アメリカ産を基準）	-10.6	-14.4	-6.8

注1：単位は人民元

注2：信頼区間は Krinsky and Robb (1986) のパラメトリックブートストラップ法により計算されている。

出典：筆者作成

4.2 支払意思額の推定結果

ランダムパラメータロジットモデルによって推定された効用関数から、従来技術により作られたコメを基準としたときのゲノム編集技術により作られたコメに対する追加的な支払意思額、同じく従来技術により作られたコメを基準としたときの遺伝子組み換え技術により作られたコメに対する追加的な支払意思額、そしてアメリカ産を基準としたときの中国産のコメに対する追加的な支払意思額を計算する。以下、これらの追加的な支払意思額を「支払意思プレミアム」と呼ぶ。さらに、Krinsky and Robb (1986) のパラメトリックブートストラップ法を用いて、これらの支払意思プレミアムの95%信頼区間を計測した。なお、観察可能な効用関数が(3.1)式のように線形で表されるとき、各属性に対する限界支払意思額はその属性を表す変数の係数を価格属性の変数の係数で割り、それに-1を乗じることによって導かれる。ランダムパラメータの場合には、その平均が用いられる (Barreiro-Hurle, Gracia and de-Magistris, 2010)。

表4-4は、除草剤耐性米についての支払意思プレミアムの推定結果である。表4-2で示されたように、 GE と GM の係数推定値はマイナスの値をとることから、ゲノム編集技術、および遺伝子組み換え技術に対する支払意思プレミアムもまたマイナスの値を示している。とりわけゲノム編集については、その係数推定値の小ささを反映して、-93.2元と極めて小さな金額が計測された。今回選択型実験で設定した価格の水準は、「30元」、「50元」、「70元」、「90元」であり、その中央値は60元である。この金額を基準に考えれば、中国の消費者は、たとえ0元であったとしても、ゲノム編集のコメは買いたくないと考えていることになる。第3章で述べたように、中国の消費者は、ゲノム編集技術に対して、安全性の面でも倫理性の面でも強い抵抗を示している。この定量的な結果はそれらの定性的な評価と整合する。一方で遺伝子組み換えについては、その支払意思プレミアムは-28.5元で、ゲノム編集のコメほど小さくはない。この結果についても、中国の人々がゲノム編集食品よりも遺伝子組み換え食品を安全な食品として認識しており、かつ倫理的な抵抗も小さいという第3章の結果と一貫している。

表4-5は、高 β カロテン米についての支払意思プレミアムの推定結果である。除草剤耐性米と同様に、表4-3で GE と GM の係数推定値がマイナスであったことを反映して、ゲノム編集技術、遺伝子組み換え技術に対する支払意思プレミアムもまたマイナスの値を示している。加えて、これも除草剤耐性米のケースと同じく、 GE の係数推定値が GM の係数推定値よりも小さいことから、ゲノム編集による高 β カロテン米に対する支払意思プレミアムの方が、遺伝子組み換えによる高 β カロテン米に対する支払意思プレミアムよりも小さい結果となった。しかし

表4-5 支払意思額の推定結果 (高 β カロテン米)

属性	点推定値	区間推定値	
		95%信頼下限	95%信頼上限
ゲノム編集	-74.9	-83.3	-66.6
遺伝子組み換え	-14.1	-17.1	-11.2
中国産 (アメリカ産を基準)	2.1	-0.1	4.5

注1：単位は人民元

注2：信頼区間は Krinsky and Robb (1986) のパラメトリックブートストラップ法により計算されている。

出典：筆者作成

ながら、それらの金額はゲノム編集のコメについては -74.9 元、遺伝子組み換えのコメについては -14.1 元となり、除草剤耐性米に対する金額よりも大きい。これは、高 β カロテン米は、除草剤耐性米とは異なって、消費者にメリットがある第2世代の品種であることによるものと考えられる。とりわけ遺伝子組み換えの高 β カロテン米は、約14元以内の価格差であれば、従来技術のコメよりも選ばれることから、今後の市場での流通が期待される。

なお、中国産のコメについては、その支払意思プレミアムは、除草剤耐性米の場合は -10.6 元とマイナスの値を示したのに対して、高 β カロテン米の場合は2.1元とプラスの値を示している。これは、表4-2、表4-3に示される CHINA の係数推定値の符号を反映するものである。育種技術に関する支払意思プレミアムと比べて、これらの金額の絶対値は比較的小さいことから、産地が市場での消費者の行動に与える影響はそれほど大きくないといえる。

5. おわりに

世界的にゲノム編集食品の市場拡大が期待される中で、本研究では、中国の消費者のゲノム編集食品に対する選好の実態を、遺伝子組み換え食品との比較から明らかにするとともに、今後の中国市場におけるゲノム編集食品の普及可能性を探ることに取り組んだ。具体的には、ゲノム編集技術、あるいは遺伝子組み換え技術によって作られるコメを事例に、選択型実験を用いて品種、産地、価格を属性として含む効用関数を推定し、そこからそれらの新たな育種技術に対する支払意思プレミアムを計測した。その際には、除草剤耐性のあるコメ (除草剤耐性米) とビタミン A のもととなるカロテンを多く含むコメ (高 β カロテン米) の二つを対象とすることにより、主に生産者にメリットがある第1世代の技術と、消費者にメリットがある第2世代の技術との間で、それらに対する選好の類似性と相違性を見極めることに努めた。また、効用関数の推定においては、ランダムパラメータロジットモデルを用いることで、ゲノム編集、遺伝子組み換え、産地に対する選好の多様性に配慮した。本分析により得られた主要な知見は次のように整理される。

第一に、中国の消費者は、ゲノム編集技術や遺伝子組み換え技術により作られたコメよりも、従来からある育種技術により作られたコメをより選好する。これは第1世代の除草剤耐性米についても、第2世代の高 β カロテン米についても同様である。第2章で述べたように、この傾向は欧米の消費者を対象にした類似の先行研究と一貫しており (Shew et al., 2018; Muringai et al.,

2020; Marette et al., 2021), 本研究結果はそれらを支持するものとなった。ゲノム編集食品は世界的にその開発が進められているが、現状では従来技術ほど広く受け入れられるものとはなっていないことが結論付けられる。

第二に、ゲノム編集技術により作られたコメと遺伝子組み換え技術により作られたコメとでは、中国の消費者は、遺伝子組み換えのコメの方を嗜好する。この傾向は、第1世代の除草剤耐性米と第2世代の高 β カロテン米との間で一貫しているが、欧米の消費者を対象とした先行研究で得られた傾向とは異なる。それらの研究では、ゲノム編集技術により作られたコメは、遺伝子組み換え技術によって作られたコメと無差別かそれよりも嗜好される結果が得られている (Shew et al., 2018; Muringai et al., 2020; Marette et al., 2021)。遺伝子組み換え技術が、自然界では起こりえない、外来の遺伝子を組み込んだ生物を生み出すのに対して、ゲノム編集技術は、基本的には自然界で起こりうる突然変異を人工的に誘発するだけなので、一般にはゲノム編集食品の方が安全で、倫理的にも受け入れやすいものと認識される。今回中国の消費者についてそれとは逆の傾向が得られたことは、中国でゲノム編集食品の安全審査のシステムがまだ確立されていないこと (立川, 2018; 農林水産省, 2020)、そしてゲノム編集技術によって人間の子供を誕生させた事件から、ゲノム編集技術の倫理面が引き続き問題とされていること (日本経済新聞, 2018; 日本経済新聞, 2019a) が大きく影響しているものと考えられる。

第三に、支払意思プレミアムでみる限り、現状では、中国においてゲノム編集のコメが市場で受け入れられる可能性は極めて低い。一点目、二点目と関連して、ゲノム編集のコメ (5kg) に対する中国の消費者の支払意思プレミアムは、除草剤耐性米では -93.2 元、高 β カロテン米では -74.9 元であった。中国で実際に販売されているコメの価格を考えれば、たとえ無料であったとしてもゲノム編集のコメは選択されないといえるほどこれらの金額は小さい。ゲノム編集食品の市場流通に向けては、やはりその安全面と倫理面の問題解決が不可欠なものと思われる。

第四に、ゲノム編集のコメとは異なって、遺伝子組み換え技術により作られた、とりわけ第2世代の高 β カロテン米については、今後市場で広く受け入れられる兆しを見せている。上述の通り、ゲノム編集のコメ (5kg) に対する中国の消費者の支払意思プレミアムは、除草剤耐性米では -93.2 元、高 β カロテン米では -74.9 元であったが、遺伝子組み換えのコメ (5kg) に対する支払意思プレミアムは、除草剤耐性米では -28.5 元、高 β カロテン米では -14.1 元であった。遺伝子組み換え技術で作られた高 β カロテン米、いわゆるゴールデンライスであってもマイナスの支払意思額が計測される結果となったが、他のコメと比べればその金額は比較的大きい。加えて、高 β カロテン米については、中国産のコメの方がアメリカ産よりも嗜好される結果も得られている。第2章で述べたように、Lusk (2003) はアメリカの消費者がゴールデンライスに対して正の支払意思プレミアムを持つことを示しており、今後中国においても、中国産の高 β カロテン米であれば、人々はそれにプラスの評価を見出す可能性が高い。

第五に、ゲノム編集技術と遺伝子組み換え技術に対する嗜好は互いに負の相関を持つ。この傾向は、第1世代の除草剤耐性米と第2世代の高 β カロテン米の双方で検出されている。度々指摘する通り、一般にゲノム編集技術による作物は自然界でも生み出されうるものであり、自然界に存在しない生物を生み出す遺伝子組み換え技術よりも安全で、倫理的にも受け入れられやすい。この理解が十分にある人々は、ゲノム編集技術に対してより高い価値を見出し、遺伝子組み換え

技術をより低く評価するであろう。逆にその理解が不足している人々は、ゲノム編集技術に対してより人間の子どもを誕生させた事件からその技術に過剰な抵抗感を見せ、聞きなれた遺伝子組み換え技術を相対的に高く評価する可能性がある。

以上の知見から、現状では、中国の消費者のゲノム編集のコメに対する評価は極めて低く、欧米の消費者を対象とした先行研究の結果とは対照的に、今後の普及は厳しいと言わざるを得ない。アンケート調査の定性的な分析から、その問題の中心には、ゲノム編集食品の安全性に対する不安や倫理面での抵抗が存在することが示された。今後の市場拡大に向けては、中国政府には、ゲノム編集食品の安全審査のシステムを確立させると共に、ゲノム編集技術を適用する範囲や表示を明確にすることで、人々の不安を取り除く努力が求められる。なぜ欧米の消費者と中国の消費者との間で、ゲノム編集食品と遺伝子組み換え食品の選好関係に違いが生まれたのか、その原因や背景を探ることは今後の重要な課題だといえる。

一方で上述の通り、遺伝子組み換え技術と異なって、ゲノム編集技術は自然界で起こりうる範囲の変異を促す技術であることから、その理解が深まることによって、将来的にその受容性が高まる可能性も残されている。今回、ゲノム編集技術と遺伝子組み換え技術に対する選好が負に相関する傾向が検出され、それは新たな育種技術に対する人々の理解にばらつきがあることを反映するものと考察した。この考察に基づけば、ゲノム編集に関する詳細な情報の提供を行い、人々が新たな育種技術に対する理解を深めることによって、ゲノム編集米の受容性が高まることが期待される。こうした情報提供がゲノム編集食品に対する選好に与える効果を分析することもまた今後の課題である。

引用文献

■日本語文献

- 有井彰・山根精一郎（2006）「除草剤耐性遺伝子組換え作物の普及と問題点」『雑草研究』第51巻第4号，pp. 263-268
- 氏家清和（2016）「食品表示と消費者行動をめぐる実証的研究の動向」『農業経済研究』第88巻第2号，pp. 156-171
- 大谷智一・矢部光保（2004）「第二世代 GMO とトレーサビリティに対する消費者選好— WEB アンケートに基づく潜在クラスモデルからの接近—」『農業経営研究』第42巻第2号，pp. 66-71
- 太田喜元・秋田求（2005）「遺伝子組換え作物の安全性と倫理的考察」『近畿大学生物理工学部紀要』第15号，pp. 1-13
- 栗山浩一・石井寛（1999）「リサイクル商品の環境価値と市場競争力—コンジョイント分析による評価—」『環境科学会誌』第12巻第1号，pp. 17-26
- 栗山浩一・庄子康（2005）『環境と観光の経済評価—国立公園の維持と管理—』勁草書房
- 蔵田伸雄（2006）「遺伝子組換え技術に関する「科学の外側」の問題」『化学と生物』第44巻第7号，pp. 481-485
- 黒田行昭編（1995）『基礎遺伝学』裳華房。
- 厚生労働省（2020）「新しいバイオテクノロジーで作られた食品について」（<https://www.mhlw.go.jp/content/000828324.pdf>）参照日：2021年1月27日
- 厚生労働省（2019）「ゲノム編集技術を利用して得られた食品等の食品衛生上の取扱いについて」（<https://www.mhlw.go.jp/content/11131500/000527477.pdf>）参照日：2021年1月27日
- 吴洋・寺脇拓（2018）「中国における倫理的消費とその発展可能性の実証分析—選択型実験による接近—」

- 『立命館経済学』第67巻第2号, pp.19-42
- 財新 Biz & Tech (2020)「中国の食卓に「カリフォルニア米」上陸の背景」東洋経済 ONLINE (<https://toyokeizai.net/articles/-/388062>) 参照日: 2022年1月24日
- 周蓓・高橋滋 (2015)「東アジアの食品リスクに係る法制度—遺伝子組換え食品を中心に—」『一橋経済学』第9巻第1号, pp.85-122
- 竹下広宣 (2003)「ヘドニック価格に見る非遺伝子組換え表示豆腐の価値と消費者のリスク認知」『日本リスク研究学会誌』第14巻第2号, pp.79-84
- 竹下広宣・浅野耕太 (2002)「食品の信用属性表示の経済価値—遺伝子組換え枝豆の経済価値評価—」『フードシステム研究』第8巻第3号, pp.25-31
- 立川雅司 (2019)「ゲノム編集で食は安全か: 米は規制せず, EU は技術使えば規制」『週刊エコノミスト』2019年1月22日号, pp.72-73
- 立川雅司 (2018)「ゲノム編集技術をめぐる規制と社会動向」『科学技術社会論研究』第15号, pp.140-147
- 寺脇拓 (2004)「遺伝子組換え食品における健康リスクの経済評価」澤田学編『食品安全性の経済評価』農林統計協会, pp.146-173
- 中島治・近藤一成 (2018)「食用と考えられるゲノム編集動植物に関する調査」『国立医薬品食品衛生研究所報告第』第136号, pp.52-69
- 日本経済新聞 (2020)「ノーベル化学賞「ゲノム編集」開発の米仏2氏」2020年10月78日 (<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO64731780X01C20A0000000/>) 参照日: 2022年1月23日
- 日本経済新聞 (2019a)「ゲノム編集ベビー, 誕生させた中国の研究者に懲役3年」2019年12月30日 (<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO53993990Q9A231C1000000/>) 参照日: 2022年1月23日
- 日本経済新聞 (2019b)「ゲノム編集食品 今夏にも流通 厚労省が了承」2019年3月18日 (<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO42626760Y9A310C1EA2000/>) 参照日: 2021年1月27日
- 日本経済新聞 (2018)「中国で「ゲノム編集子ども誕生」——進むDNA研究, 倫理問う, 各国で法律整備, 急務」2018年12月14日
- 日本経済新聞 (2012)「中国, 食糧安全へ新法 遺伝子組み換え作物を規制」2012年3月22日 (https://www.nikkei.com/article/DGXNASGM2202F_S2A320C1MM0000/) 参照日: 2022年1月23日
- 日本農業新聞 (2021)「GM米 商業栽培認可 フィリピンで世界初」2021年8月1日 (<https://www.agri-news.co.jp/news/index/16706>) 参照日: 2022年1月22日
- (独) 農業環境技術研究所 (2010)「GMO 情報: 組換え作物のメリットとデメリット」『農業と環境』第122号 (<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/magazine/122/mgzn12205.html>) 参照日: 2022年1月29日
- (独) 農業環境技術研究所 (2007)「GMO 情報: ビタミンA強化米 ゴールデンライスの開発阻害要因」『農業と環境』第88号 (<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/magazine/088/mgzn08806.html>) 参照日: 2022年1月26日
- 農業・食品産業技術総合研究機構 (農研機構) (2021)「ゲノム編集~新しい育種技術~第5版」(https://www.affrc.maff.go.jp/docs/anzenka/attach/pdf/genom_editting-11.pdf) 参照日: 2021年1月27日
- (国研) 農業生物資源研究所 (2015)「バイオ用語集: た行」国立研究開発法人農業生物資源研究所 遺伝子組換え研究センター 遺伝子組換え研究推進室 (<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/nias/gmogmo/FAQ/app/J4.html>) 参照日: 2022年1月22日
- 農林水産技術会議 (2019)「あなたの疑問に答えます (ゲノム編集食品の安全性, どう考える?)」(https://www.affrc.maff.go.jp/docs/anzenka/genom_editting/interview_2.htm) 参照日: 2022年1月22日
- 農林水産省 (2022)「生物多様性と遺伝子組換え (基礎情報)」(https://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/carta/kiso_joho/outline.html) 参照日: 2022年1月22日

- 農林水産省 (2020) 「ゲノム編集技術を用いた農林水産物に関する Q & A」 (https://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/carta/tetuduki/attach/pdf/201225_sympto-19.pdf) 参照日：2022年1月23日
- (一財)バイオインダストリー協会 (2006) 「Q34. 除草剤耐性作物の栽培により、逆に除草剤の使用量が増える可能性はないのか」『もっと知りたい人のためのバイオテクノロジー Q & A』 (https://www.jba.or.jp/top/bioschool/seminar/q-and-a/motto_34.html) 参照日：2022年1月29日
- バイオテック情報普及会 (2018) 「中国」 (https://cbijapan.com/about_legislation/legislation_w/china/) 参照日：2022年1月22日
- パルシステム (2019) 「「ゲノム編集食品」が食卓に上る日。本当に規制は必要ないのか？ 北海道大学教授・石井哲也さんに聞く」 (<https://kokocara.pal-system.co.jp/2019/07/22/genome-editing/>) 参照日：2021年1月27日
- 山本卓 (2019) 「ゲノム編集の歴史と基礎」『THE CHEMICAL TIMES』第251号, pp.1-6 (https://www.kanto.co.jp/dcms_media/other/CT_251_01.pdf) 参照日：2021年1月27日
- Wang, H. (2018) 「現代中国における食品安全問題と消費者による活動」『21世紀東アジア社会学』第9号, pp.39-54

■英語文献

- Adamowicz, W., Boxall, P., Williams, M. and Louviere, J. (1998) Stated preference approaches for measuring passive use values: Choice experiments and contingent valuation, *American Journal of Agricultural Economics*, 80(1), pp.64-75.
- Barreiro-Hurle, J., Gracia, A. and de-Magistris, T. (2010) The effects of multiple health and nutrition labels on consumer food choices, *Journal of Agricultural Economics*, 61(2), pp.426-443.
- Carlsson, F. and Martinsson, P. (2001) Do hypothetical and actual marginal willingness to pay differ in choice experiments? Application to the valuation of the environment, *Journal of Environmental Economics and Management*, 41(2), pp.179-192.
- Court of Justice of the European Union (2018) PRESS RELEASE No 111/18 (Organisms obtained by mutagenesis are GMOs and are, in principle, subject to the obligations laid down by the GMO Directive), Luxembourg, 25 July 2018.
- Dannenberg, A. (2009) The dispersion and development of consumer preferences for genetically modified food: A meta-analysis. *Ecological Economics*, 68(8), pp.2182-2192.
- De Steur, H., Gellynck, X., Feng, S., Rutsaert, P., Verbeke, W. (2012), Determinants of willingness-to-pay for GM rice with health benefits in a high-risk region: Evidence from experimental auctions for folate biofortified rice in China. *Food Quality and Preference*, 25(2), pp.87-94.
- Endo, A., Saika, H., Takemura, M., Misawa, N., Toki, S. (2019) A novel approach to carotenoid accumulation in rice callus by mimicking the cauliflower Orange mutation via genome editing, *Rice*, 12: 81.
- Gracia, A., Loureiro, M. L. and Nayga Jr., R. M. (2009) Consumers' valuation of nutritional information: A choice experiment study, *Food Quality and Preference*, 20(7), pp.463-471.
- International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA) (2019) *Brief 55: Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops*.
- Jinek, K., Chylinski, K., Fonfara, I., Hauer, M., Doudna, J. A., Charpentier, E. (2012) A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *Science*, 337(6096), pp.816-821.
- Kessels, R., Jones, B. and Goos, P. (2011) Bayesian optimal designs for discrete choice experiments with partial profiles. *Journal of Choice Modelling*, 4(3), pp.52-74.
- Krinsky, I., Robb, A.L. (1986) On Approximating the statistical properties of elasticities. *Review of Economics and Statistics*, 68(4), pp.715-719.

- Lancaster, K. J. (1966) A new approach to consumer theory, *The Journal of Political Economy*, 74 (2), pp. 132-157.
- Li, Q., Curtis, K. R., McCluskey, J. J., Wahl, T. I. (2002) Consumer attitudes toward genetically modified foods in Beijing, China. *AgBioForum*, 5(4), pp. 145-152.
- Louviere, J. J., Woodwarth, G. (1983) Design and analysis of simulated consumer choice or allocation experiments; An approach based on aggregate data, *Journal of Marketing Research*, 20(4), pp. 350-367.
- Lusk, J. L. (2003) Effects of cheap talk on consumer willingness-to-pay for golden rice. *American Journal of Agricultural Economics*, 85(4), pp. 840-856.
- Lusk, J. L., Jamal, M., Kurlander, L., Roucan, M., Taulman, L. (2005), A meta-analysis of genetically modified food valuation studies. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 30(1), pp. 28-44.
- Marette, S., Disdier, A-C., Beghin, J. C. (2021) A comparison of EU and US consumers' willingness to pay for gene-edited food: Evidence from apples. *Appetite*, 159, 105064.
- MarketsandMarkets (2017) Genome Editing/Genome Engineering Market by Technology (CRISPR, TALEN, ZFN), Application (Cell Line Engineering, Animal Genetic Engineering, Plant Genetic Engineering), End User (Biotechnology & Pharmaceutical Companies, CROs)-Global Forecast 2022.
- Muringai, V., Fan, X., Goddard, E. (2020) Canadian consumer acceptance of gene-edited versus genetically modified potatoes: A choice experiment approach. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 68, pp. 47-63.
- Ortega, D. L., Holly Wang, H., Wu, L. and Olynk, N. J. (2011) Modeling heterogeneity in consumer preferences for select food safety attributes in China, *Food Policy*, 36(2), pp. 318-324.
- Scarpa, R. and Del Giudice, T. (2004) Market segmentation via mixed logit: Extra-virgin olive oil in urban Italy. *Journal of Agricultural and Food Industrial Organization*, 2, article 7.
- Scarpa, R., Campbell, D. and Hutchinson, G. (2007) Benefit estimates for landscape improvements: Sequential Bayesian design and respondents rationality in a choice experiment, *Land Economics*, 83(4), pp. 617-634.
- Shew, A., Nalley, L. L., Snell, H. A., Nayga, R. M., Dixon, B. L. (2018) CRISPR versus GMOs: Public acceptance and valuation. *Global Food Security*, 19, pp. 71-80.
- Sun, Y., Zhang, X., Wu, C., He, Y., Ma, Y., Hou, H., Guo, X., Du, W., Zhao, Y., Xia, L. (2016) Engineering herbicide-resistant rice plants through CRISPR/Cas9-mediated homologous recombination of acetolactate synthase. *Molecular Plant*, 9, pp. 628-631.
- Train, K. E. (2009) *Discrete Choice Methods with Simulation 2nd ed.*, Cambridge University Press.
- Ubilava, D. and Foster, K. (2009) Quality certification vs. product traceability: Consumer preferences for informational attributes of pork in Georgia, *Food Policy*, 34(3), pp. 305-310.
- Workman, D. (2021) China's rice imports by country. World's Top Exports (<https://www.worldstopexports.com/chinas-rice-imports-by-country/>) 参照日：2022年1月24日
- Wu, L., Yin, S., Xu, Y. and Zhu, D. (2014) Effectiveness of China's organic food certification policy: Consumer preferences for infant milk formula with different organic certification labels, *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 62(4), pp. 545-568.
- Zhang, M., Fan, Y., Cao, J., Chen, L., Chen, C. (2021) Willingness to pay for enhanced mandatory labelling of genetically modified soybean oil: Evidence from a choice experiment in China. *Foods*, 10, 736.
- Zheng, Z., Henneberry, S. R., Sun, C., Nayga Jr, R. M. (2018) Consumer demand for genetically

modified rice in urban China. *Journal of Agricultural Economics*, 69(3), pp.705-725.

■中国語文献

兔子的简笔画（2021）「2021年转基因食品行业分析研究报告」

■辞書

『デジタル大辞泉, JapanKnowledge』（2012）小学館（<https://japanknowledge.com>）参照日：2022年1月22日