

多属性効用分析に基づく 再生可能エネルギーを用いた農業政策の評価と選定

林田智弘*・西崎一郎*・上田良文**

Selection of Agriculture Policy Using Renewable Energy Based on Multiattribute Utility Analysis

Tomohiro HAYASHIDA, Ichiro NISHIZAKI, Yoshifumi UEDA

In Miyazaki Prefecture, Japan, a number of farmers adopt the forcing agriculture with the greenhouses. They need to keep temperature constant inside the greenhouses in winter. In recent years, not only air pollution caused by oil burners, but also land and water pollution caused by excess chemical fertilizer, become problematic in the region. This paper proposes multiple new agricultural policies for the environmental pollutions focusing on Oyodo River basin. The river is the typical agricultural region in Miyazaki Prefecture. Based on multiattribute utility analysis, this paper selects the most preferred policy. The local government unit of Miyazaki Prefecture is assumed to be the decision maker, and the decision maker regards to not only the public interests but also the preference of regional farmers.

Key words: Multiattribute utility analysis, policy selection, renewable energy

1. はじめに

宮崎県は年間日照時間が47都道府県のなかで最も長く、ビニールハウスを用いた促成栽培により、きゅうり、トマト、ピーマン、なすなど多くの農作物が生産されている。気温の上がりにくい冬季や夜間などには、ハウス内の温度を石油ボイラーにより一定に保つ農家が多く、二酸化炭素などの温室効果ガスの排出による空気汚染や、化学肥料の土壌や河川への浸透による汚染などが問題となっている。

ハウス内の温度調整のための石油ボイラーによる空気汚染は、再生可能エネルギーの一種である太陽エネルギーを用いた太陽熱温水器やソーラーシステムに置き換えることで解決され、また、有機肥料を用いることで土壌や河川の汚染が軽減されると考えられる。このことから、太陽エネルギーの利用方法や、農家への補助金政策などを含めた多角的な農業政策を提案する。宮崎県南部の大淀川は流域面積が広く、流域では主にピーマン、トマト、きゅうりが生産され、これらは宮崎県の主要な農産物である。冬季の促成栽培において、石油ボイラーではなく太陽熱を利用した暖房システムを用いることで、自然環境への負荷が低くなると考えられる。また、自然環境に関する影響だけではなく、農産物の品質や農産物の流通経路、農産物への品質保証など、農業政策および農業経営に関するいくつかの要素の組み合わせにより特徴づけられる、複数の農業モデルを提案する。本論文で

は宮崎県の農業政策としてこれらの農業モデルを多属性効用分析[5]により評価する。一方、選択された農業政策は当該地域の自然環境だけではなく、ビニールハウスを使う農家にも影響するため、大淀川流域の農家も考慮して農業政策を多目的評価する。

多属性効用分析では、意思決定者のリスク態度や属性間のトレードオフに関する選好構造を定量的に表現することで、複数の代替案を数値的に評価する意思決定手法である。Keeney and Raiffa[5]は、多属性効用分析に関する基礎理論を統括するとともに、いくつかの適用事例が紹介されている。さらに、都市政策の評価[1]や、核廃棄物の処分に関する問題[6]、韓国南部の経済分析[9,10]、土地や水資源の管理方法に対する評価[8]、森林保全のための政策分析[3]などの多属性効用分析の適用事例が報告され、その有用性が示されている。

一般に、多属性効用分析では、意思決定者の選好構造を同定する過程で多くのパラメータを決定するため、複雑な計算を行う必要がある。このような多目的評価に伴う複雑な計算を行うための意思決定支援アプリケーションが開発されている[4,10,11,12]。本論文では、多属性効用分析のために開発された意思決定支援システムであるMIDASS[11]を用いる。

本論文は次のように構成される。2節で太陽エネルギーを利用した農業政策を提案し、3節でそれらを多属性効用分析に基づいて評価し、もっとも選好される農業政策を選択する。4節でまとめる。

* 広島大学大学院工学研究科システムサイバネティクス専攻

** 広島大学大学院社会科学部研究科

2. 自然環境問題対策のための農業モデル

ここでは、宮崎県におけるビニールハウスを用いた促成栽培に起因する自然環境問題対策のための農業政策モデル、および関連する政策について述べる。本論文で提案する農業政策モデルは、複数の政策の組み合わせにより特徴付けられる。なお、本論文で参考にするデータは、特に記述がない場合はすべて平成19年度のデータを参考にしている。

2.1 ビニールハウスを用いた促成栽培

ビニールハウス内の温度を一定に保つために、石油ボイラーではなく、太陽熱温水器もしくはソーラーシステムを利用することで二酸化炭素の排出量を抑制することができる。本論文では、空気汚染量を農地10aあたりの二酸化炭素の年間排出量で評価し、石油ボイラーを利用した場合を基準とする。現地での聞き取り調査の結果、石油ボイラーの初期費用は10aあたり約3,000千円、耐久年数は約15年であることが明らかとなったため、石油ボイラーの初期費用の減価償却費を200千円/年・10aとする。評価対象となる農作物は、ピーマン、トマト、きゅうりの主要な3種類の農作物であるが、宮崎県の農家1戸あたりの石油ボイラーの光熱費は、それぞれ2,719千円/年・戸、1,259千円/年・戸、873千円/年・戸である[14]。ピーマン農家1戸あたりの平均作付面積は27a、トマト農家は30a、きゅうり農家は20aであることから[14]、石油ボイラーに必要な費用は減価償却費をあわせて、ピーマンは1,207千円/年・10a、トマトは612千円/年・10a、きゅうりは634千円/年・10aとなる。

ビニールハウスの暖房システムとして、石油ボイラー、太陽熱温水器、ソーラーシステムを用いた場合を比較する。太陽熱温水器およびソーラーシステムの、機器1単位あたりの設置費用(c_{ini})はそれぞれ300千円、900千円、石油ボイラーと比べた場合の運用コスト(c_{unit})はそれぞれ22.6千円/年、45.2千円/年だけ減少し、二酸化炭素排出量はそれぞれ554Kg/年、1,108Kg/年減少する[7]。ここで、石油ボイラーを利用した場合の1戸あたりの光熱費(c_{oil})が2,719千円/年・戸であることから、暖房システムを石油ボイラーから太陽熱温水器もしくはソーラーシステムに切り替えた場合、 c_{oil}/c_{unit} 単位の機器が必要である。法定定期点検の期間はそれぞれ10年と定められており、これを耐用年数とする。太陽熱温水器とソーラーシステムには燃料費が不要なので、必要な費用は初期費用の10年間の減価償却費のみとなり、農家1戸あたりの平均作付面積を acr とすると、 $c_{ini}/10 \times (c_{oil}/c_{unit})/(acr/10)$ と計算できる。ビニールハウス内の暖房システムを石油ボイラーから太

陽熱温水器またはソーラーシステムに切り替えた場合、二酸化炭素排出削減量も年間運用コストと同様に計算できる。これらを表1に示す。

宮崎県では二重構造ビニールハウスが多く、その初期費用は4,000千円/10a、耐用年数は約30年である。二重構造ビニールハウスは年に1回ビニールを張り替える必要があり、その費用は300千円/10aであるため、減価償却費とあわせて433.3千円/年・10aが運用コストとなる。また、二重構造ビニールハウスを利用する場合、ハウス内の換気だけではなく内部に蓄積される水分を定期的に排水するため、換気や排水のために必要な労働時間はピーマン農家が79.96時間/年・10a、トマト農家が52.47時間/年・10a、きゅうり農家が37.16時間/年・10aとなる[15]。また、ハウス内の換気や排水を自動的に行う温度自動制御機能付のビニールハウスは、自動巻き上げモーターを10aあたり6台設置したものが多く普及しており、耐久年数は10年、初期費用は245千円/10aである。この温度自動制御ビニールハウスを利用した場合の運用コストは、ビニール張り替えのコストも含めて457.8千円/年・10aとなる。

以上のように、暖房システムの種類は石油ボイラー、太陽熱温水器、ソーラーシステムを考え、各種暖房システムの使用を前提とした政策をそれぞれ S_0, S_1, S_2 と書く。また、ビニールハウスの形態については、二重構造ビニールハウス、温度自動制御ビニールハウスを考え、対応する政策をそれぞれ H_0, H_1 と書く。

2.2 肥料の種類

宮崎県では多くの農家が宮崎県農業協同組合(以下JA)と契約しており、農作物1Kgあたりの買取価格が毎年決定される。JAへの聞き取り調査の結果、1Kgあたりの買取価格は、ピーマンが332円、トマトが418円、きゅうりが291円であった。現在、多くの農家が化学肥料を利用しており、この価格は化学肥料を利用した場合の買取価格である。化学肥料のみで栽培した農作物を「慣行農作物」、有機肥料のみで栽培した農作物を「有機農作物」、化学肥料と有機農作物を混合した肥料で栽培した農作物のうち、化学肥料の割合が半分以下である農作物は「特別栽培農作物」とよばれ[16]、本論文では、「特別栽培農作物」に関しては1:1の割合で混合した肥料で栽培する場合を考える。各種農産物の小売価格は使用する肥料の種類により異なり[14]、慣行農産物の小売価格は、ピーマンが782円、トマトは1,041円、きゅうりが499円であることから、有機農作物および特別栽培農作物の買取価格と小売価格との比率は、慣行農作物における比率と同じであると仮定すると、買取価格は、表2のように計算される。なお、括弧内の数値は小売価格[14]である。

表 1: 石油ボイラーと比較した場合の年間運用コストおよび二酸化炭素排出削減量

| | | ピーマン | トマト | きゅうり |
|-------------------------|----------|-------|------|------|
| 年間運用コスト (千円/年・10a) | 太陽熱温水器 | 1,344 | 560 | 585 |
| | ソーラーシステム | 2,033 | 840 | 900 |
| 二酸化炭素排出削減量 (t/年・10a) | 太陽熱温水器 | 24.8 | 10.3 | 10.8 |
| | ソーラーシステム | 25.0 | 10.3 | 11.1 |

表 2: 農産物別買取価格(カッコ内は小売価格) [円/Kg]

| | ピーマン | トマト | きゅうり |
|---------|-------------|-------------|-----------|
| 有機農産物 | 472 (1,112) | 553 (1,378) | 410 (703) |
| 特別栽培農産物 | 441 (1,039) | 561 (1,397) | 394 (676) |
| 慣行農産物 | 332 (782) | 418 (1,041) | 291 (499) |

表 3: 農産物別肥料コストおよび労働時間

| | 肥料コスト [千円/年・10a] | | | 労働時間 [時間/年・戸] | | |
|---------|------------------|-----|------|---------------|-------|-------|
| | ピーマン | トマト | きゅうり | ピーマン | トマト | きゅうり |
| 有機農産物 | 273 | 252 | 204 | 5,170 | 9,042 | 5,195 |
| 特別栽培農産物 | 255 | 255 | 196 | 4,831 | 9,167 | 4,996 |
| 慣行農産物 | 192 | 190 | 145 | 3,635 | 6,830 | 3,687 |

有機肥料を使うことで、化学肥料よりも肥料コストが高くなり、害虫駆除などの労働が必要となる。したがって、利用する肥料の種類によって肥料コストや労働時間が決まり、表 2 に示される買取価格にも反映されるものと考えられる。本論文では、各農産物の買取価格の比率は肥料コストおよび労働時間の比率であると仮定する。慣行農産物における肥料コストおよび労働時間[15]を参考に計算した、肥料コストおよび労働時間を表3に示す。

慣行農作物を生産するために使う化学肥料は、連続的な投与により土壌汚染や河川の水質低下の原因になり、さらに農作物の品質も低下すると考えられる。本論文では、化学肥料を使った場合の土壌汚染の程度を1、農作物の品質を0、有機肥料を使った場合の土壌汚染の程度を0、農作物の品質を1とする。また、化学肥料と有機肥料を1:1の割合で使う特別栽培農産物を生産する場合は、土壌汚染の程度と農作物の品質を中間点の0.5とあらしむ。なお、河川の水質については農業政策の適用範囲にも影響されるため、2.3節で述べる。

以上のように、化学肥料を利用、特別栽培農産物、有機肥料を利用する場合を考え、これらの利用を前提とした政策をそれぞれ F_0, F_1, F_2 と書く。

2.3 宮崎県農業政策の適用範囲

宮崎県の農業政策の適用範囲として、大淀川下流域、本流全域、全流域の3種類を考える。大淀川下流域は主に宮崎市、本流全域は宮崎市と都城市、全流域はこれに小林市を追加した地域であるとする。宮崎県農業協同組合への聞き取り調査の結果明らかとなった、各地域での各種農家戸数を表4に示す。

表 4: 各地域における各種農家戸数

| | ピーマン | トマト | きゅうり |
|---------|------|-----|------|
| 大淀川下流域 | 165 | 71 | 584 |
| 大淀川本流全域 | 190 | 74 | 800 |
| 大淀川全流域 | 218 | 84 | 855 |

地方自治体による農業政策として、太陽エネルギーを利用した暖房システムを導入する農家に対する2種類の補助金制度を考える。すなわち、太陽熱温水器もしくはソーラーシステムを新たに導入する農家に対して、その設置費用の全額もしくは半額を県が負担するというものである。表4に示す3種類の適用範囲のいずれかに農業政策を適用すると考えたとき、宮崎県における農家一戸あたりの作付面積がピーマンは27a、トマトは30a、きゅうりは20aであることと、2.1節で述べた設置費用を考えると、設置費用に対する補助金総額は表5のように計算される。同様に、太陽熱温水器もしくはソーラーシステムを用いた場合、適用範囲ごとの二酸化炭素削減総量が表6に示されるように算出される。

次に、河川の水質について考える。化学肥料は無機質資材を化学合成したものが主に利用されており、窒素が河川の水質低下の主な原因であり、これに対して有機肥料は、有機質資材を発酵させた肥料であるので、水質汚染の原因とはなりにくい。農業は宮崎県の主な産業であるので、化学肥料の連続的投与が河川の水質低下の主な原因と考える。河川の水質は、BOD75%値(Biochemical Oxygen Demand; 生物化学的酸素要求量)により評価し、BOD75%値が低いほど、水質が高いことを意味する。平成19年度のBOD75%値は、大淀川最下流の観測点である宮崎県相生橋で1.3であり、大淀川上流に位置する綾町に

表 5: 設置費用に対する県の補助金総額[千円/年]

| | 県が全額負担する場合 | | 県が半額負担する場合 | |
|---------|------------|-----------|------------|-----------|
| | 太陽熱温水器 | ソーラーシステム | 太陽熱温水器 | ソーラーシステム |
| 大淀川下流域 | 1,401,508 | 2,135,969 | 700,754 | 1,067,984 |
| 大淀川本流全域 | 1,750,018 | 2,669,579 | 875,006 | 1,334,789 |
| 大淀川全流域 | 1,932,808 | 2,947,499 | 966,404 | 1,473,749 |

表 6: 二酸化炭素排出減少量 [t/年]

| | 太陽光温水器 | ソーラーシステム |
|---------|--------|----------|
| 大淀川下流域 | 25,872 | 26,296 |
| 大淀川本流全域 | 32,319 | 32,866 |
| 大淀川全流域 | 35,694 | 36,287 |

おけるBOD75%値は0.6である[17]。農業政策の施行によりBOD75%値が変化するとして、大淀川最下流の観測点である宮崎市相生橋のBOD75%値により評価する。慣行農産物を生産した場合はBOD75%値は1.3になるものとし、農業政策を全流域で適用し、有機農産物を生産した場合には河川の水質低下はないものと考え、BOD75%値が0.6になるものとする。また、特別栽培農産物を生産した場合のBOD75%値は、化学肥料と有機肥料を1:1で使用するため、慣行農産物と有機農産物の場合との中間値と仮定する。すなわち、農業政策を全流域で適用し特別栽培農産物を生産した場合には、BOD75%値は0.9と計算される。

農業政策の適用範囲を大淀川本流全域あるいは下流域として、適用地域では有機肥料、その他の地域では現状と同様に化学肥料を使う場合を考える。このとき、適用地域はその他の地域よりも下流に位置するため、それらの境界点での現在のBOD75%値を採用する。すなわち、大淀川本流全域に農業政策を適用し有機農産物を生産した場合は0.7[17]、特別栽培農産物を生産した場合は1.0とする。また、大淀川下流域に対して農業政策を適用し有機農産物を生産した場合は0.9[17]、特別栽培農産物を生産した場合は1.1とする。

以上のように、大淀川全流域、本流全域、下流域を適用範囲として考えた場合の政策をそれぞれ R_0, R_1, R_2 と書き、太陽熱利用機器導入費用について、半額を負担する場合と、全額を負担する政策を考え、それぞれ C_0, C_1 と書く。

2.4 代替案

本論文では、これまでに述べた、太陽熱利用法、ビニールハウスの形態、肥料の種類、農業政策の適用範囲、太陽熱利用農家への補助政策の5項目に加えて、農産物の流通経路、モニタリング活動の7項目により特徴づけられる宮崎県の農業政策モデルを提案する。

現在、多くの農家が宮崎県農業協同組合と契約しており、農産物は農業協同組合から卸売業者を経て小売店に流通する。本論文4では、農家から卸売業者が直接買い取

る流通経路を考える。促成栽培された各種農産物の卸売価格の平均は、ピーマンが519[円/Kg]、トマトが667[円/Kg]、きゅうりが369[円/Kg]である[18]。次に、宮崎県農業協同組合の利潤は、卸売業者への売値と各農家からの買取価格の差で計算されるが、新しい流通経路ではこれをゼロとすることで、農家からの買取価格を高く設定することが可能となる。すなわち、表2に示される買取価格に対して、ピーマンは111[円/Kg]、トマトは139[円/Kg]、きゅうりは97[円/Kg]を追加するものとする。ここで、卸売業者への売値と農家からの買取価格との差額は、宮崎県農業協同組合への聞き取り調査結果による。

これまで述べたように、農産物の価格は利用している肥料にも依存しており、特に有機肥料による生産はその安全性を保証することで、農産物の価格向上ののぞまれる。ここで、平成19年度食料品消費モニター第4回定期調査[19]において、農作物の安全性が保証されている場合、5%までの価格上昇であれば、購買行動はほとんど変化しないという結果が得られている。さらに、トレーサビリティシステム[20]とは、肥料散布や作業時間、内容などの農業実態に関する詳細なデータを記録、公開するシステムであり、これを導入することで農産物の安全性が保証される。このように農産物生産過程を監視、公開することをモニタリング活動とよぶ。これまでにいくつかの農業地域での導入事例があり[21]、一般的に使用されているトレーサビリティシステムは、本論文で想定している3種類の範囲であれば費用は変わらず、初期費用は2,520千円であり、利用料金は年間1,260千円であることが、聞き取り調査の結果明らかとなった。耐用年数を10年とし、専属管理者を3名とするとき、宮崎県庁職員の平均年収は4,272千円[22]であることから、3名分の人件費を12,816千円/年とする。以上のことから、モニタリング活動を行う場合に必要となる費用は14,328千円/年と計算され、農業政策が適用される地域の農家が、敷地面積に比例してコストを負担するとしたとき、敷地面積10aあたりの年間負担コストは、大淀川下流域では7.85千円/年・10a、大

淀川本流全域では6.14千円/年・10a，大淀川全流域では5.62千円/年・10aとなる。

農産物の流通経路として，現状どおり農業協同組合の経路を前提とした政策を D_0 ，卸業者が直接農家から買い取ることを前提とした政策を D_1 と書き，モニタリング活動を行う政策を M_0 ，行わない政策を M_1 と書く。

3. 多属性効用分析を用いた農業政策の選択

3.1 多属性効用分析

多属性効用分析では，一般に n 種の属性 X_1, \dots, X_n を取り扱う。属性 X_i の実現値を x_i と表し，その n 次元ベクトルを $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$ と表す。多属性効用関数 $U(\mathbf{x})$ に関して，相互効用独立性が仮定できれば， $U(\mathbf{x}) = f(u_1(x_1), \dots, u_n(x_n))$ と表現できるので，多属性効用関数 U の評価は関数 f と $u_i, i = 1, \dots, n$ の評価に帰着される。 u_i は単一属性効用関数であり， f の形は独立性の条件に依存する。 $f, u_i, i = 1, \dots, n$ は $[0,1]$ に正規化されているものとする。

相互効用独立性条件が満たされているならば，多属性効用関数は次のように乗法的に表現される[5]。

$$U(\mathbf{x}) = \frac{1}{K} \left[\prod_{i=1}^n \{1 + Kk_i u_i(x_i)\} - 1 \right] \quad (1)$$

ここで， $k_i \in [0,1], i = 1, \dots, n$ は i 番目の属性に対するスケール定数で， K は $1 + K = \prod_{i=1}^n [1 + Kk_i]$ を満たす補助的なスケール定数である。 $\sum_{i=1}^n k_i = 1$ が成り立つ場合， $K = 0$ となり，多属性効用関数は加法的に表現できる。多属性効用分析の手順として，まず対象とする意思決定問題の属性を明らかにして目的構造体を構成し，解決策としての複数の代替案を考案し，対応する複数の属性値を評価する。効用関数の型をいくつか仮定すれば，それぞれの効用関数の型に応じたパラメータを定めるために意思決定者から必要となる情報が引き出され，スケール定数 $k_i, i = 1, \dots, n, K$ を定めるために，くじと対応する確実同値額に関する質問と無差別点を問う2属性間のトレードオフに関する質問を行う。以上の結果から，各代替案の確率変数を含む属性値 $x_i, i = 1, \dots, n$ に対応する多属性効用関数値 $U(\mathbf{x})$ および単一属性効用関数値 $u_i(x_i), i = 1, \dots, n$ を計算し，結果を分析する。

3.2 評価項目と目的構造体

本論文では，宮崎県の農業政策の違いにより，2節で述べたように変化すると考えられる事項を評価項目とし，意思決定は目的構造体を図1に示す。なお，図中にはスケール定数 k_i, K も示されており，これについては3.3節で述べる。

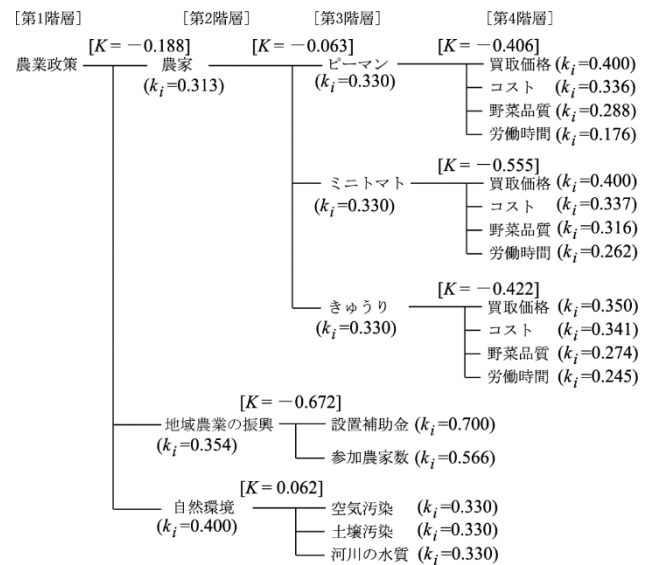


図 1: 目的構造体とスケール定数

宮崎県の農業政策を考えているため，意思決定者は宮崎県の農業政策提言立案の責任者であるとし，図1に示されるように，農業政策は，「地域農業の振興」や「自然環境」だけではなく，宮崎県「農家」の選好構造も考慮して評価される。また，「農家」については宮崎県的主要3品目である「ピーマン」，「トマト」，「きゅうり」の3種類の農家を評価対象とし，本論文で提案する農業政策を農家が評価することを考えたとき，農産物の「買取価格」，「コスト」，「野菜品質」および，農家の「労働時間」に影響し，これらを農業政策の評価項目とすることで十分であることが，現地での聞き取り調査の結果明らかとなった。「地域農業の振興」については，農業政策に必要な補助金の総額と規模により評価する。「自然環境」については，太陽エネルギーを利用することや，肥料の種類により影響を受ける空気，土壌，河川水質の3点を評価項目とする。

3.3 効用関数の同定

本論文では，各種農家の下位属性に対する単一属性効用関数およびスケール定数は，宮崎県の各種農家に対する聞き取り調査に基づき，決定した。宮崎県の地域農業政策担当者を仮想的な意思決定者としてその他のパラメータを決定した。

属性 X_i の最良値を x_i^* ，最悪値を x_i^0 ，単一属性効用関数の型を $u_i(x_i) = a_i + b_i \exp(-c_i x_i)$ としたとき，それぞれ確率0.5で x_i^* あるいは x_i^0 を得るくじと同等に選好される確実な値である確実同値 \hat{x}_i を，意思決定者にたずねることにより，パラメータ a_i, b_i, c_i を同定する。表7に，各最下位属性に対する最良値，最悪値，確実同値，単一属性効用関数のパラメータ値を示す。

表 7: 最下位属性の最良値, 最悪値, 確実同値および単一属性効用関数のパラメータ値

| 最下位属性 | 最良値 | 最悪値 | 確実同値 | パラメータ値(a_i, b_i, c_i) |
|------------|---------|-----------|-----------|-----------------------------|
| 買取価格(ピーマン) | 675 | 325 | 470 | (1.987, -3.805, 0.002) |
| コスト(ピーマン) | 600 | 2000 | 1700 | (1.051, -0.014, -0.002) |
| 品質(ピーマン) | 1 | 0 | 0.63 | (0.506, 0.565, -1.090) |
| 労働時間(ピーマン) | 1300 | 2000 | 1400 | (-0.008, 7421, 0.007) |
| 買取価格(トマト) | 850 | 400 | 580 | (1.784, -3.705, 0.002) |
| コスト(トマト) | 600 | 1350 | 1100 | (1.309, -0.100, -0.002) |
| 品質(トマト) | 1 | 0 | 0.42 | (2.090, -2.090, 0.651) |
| 労働時間(トマト) | 1650 | 2450 | 1700 | (-0.00002, 8586, 0.014) |
| 買取価格(きゅうり) | 450 | 250 | 320 | (1.386, -6.853, 0.006) |
| コスト(きゅうり) | 550 | 1350 | 1050 | (1.543, -0.265, -0.001) |
| 品質(きゅうり) | 1 | 0 | 0.21 | (1.048, -1.048, 3.088) |
| 労働時間(きゅうり) | 1650 | 2250 | 1800 | (-0.018, 1725, 0.005) |
| 設置補助金 | 0 | 3,000,000 | 2,000,000 | (1.309, -0.309, -0.0000005) |
| 参加農家数 | 1200 | 800 | 950 | (1.543, -12.46, 0.0026) |
| 空気汚染 | -36,500 | 0 | -14,000 | (1.613, -1.613, -0.00003) |
| 土壌汚染 | 0 | 1 | 0.55 | (3.017, -2.017, -0.403) |
| 河川水質 | 0.5 | 1.5 | 1.05 | (3.017, -1.649, -0.403) |

図1に示されるスケール定数 k_i, K について述べる. 宮崎県における農業において自然環境汚染が問題になっていることから, 「自然環境」をもっとも重視するものと仮定した. スケール定数 k_i については「地域農業の振興」が2番目, 「農家」が3番目の順になっているが, $K = -0.188 (< 0)$ であることから, それぞれの属性で高い効用を得られなければ全体で高い効用は得られず, これら3つの属性は相互補完的な選好関係である. 「自然環境」の下位属性は, 「空気汚染」, 「土壌汚染」, 「河川の水質」を同等に重視し, 「地域農業の振興」の下位属性は, その金額の大きさから「設置補助金」に対するスケール定数が大きい. 各種農家以下の第4階層に示されるスケール定数 k_i は, 聞き取り調査に基づいて決定され, すべての農家は「買取価格」, 「コスト」, 「野菜品質」, 「労働時間」の順でスケール定数が高く, $K < 0$ であることから, 4つの属性は相互補完的な選好関係であることがわかる.

3.4 代替案の比較

本論文で提案する300種類の農業政策に関する代替案のうちの上位10位の代替案および慣行農業の期待効用値を図2に表す.

慣行農業により得られる効用値は0.3533と, 300代替案の中で最も低い. 以下では, 上位10位の代替案の特徴について簡単に述べる. 太陽熱温水器(S_1)は, ソーラーシステムよりもコストが安く, 環境に対する配慮もできるため, 上位10位の代替案はすべて S_1 が選択されている. 農家は労働時間よりもコストを重視している. しかし, ビニールハウスの形態を変えることで労働時間が短くな

る場合, 必要なコストが労働時間の短縮とバランスが取れるのであれば, 温度自動制御ビニールハウスを導入すると考えている. このような意向から, 図2では, 二重構造ビニールハウス(H_0)と温度自動制御ビニールハウス(H_1)が交互に並んでおり, どちらでも高い効用が得られると考えられる. また, 農家がコストや労働時間よりも買取価格を重視しており, さらに意思決定者は政策として自然環境保全を重視することから, 有機肥料(F_2)を利用することにより高い効用を得られる.

規模が大きくなれば補助金は多くなるが, 意思決定者の環境汚染に対する選好が高いことから, 適用範囲を大淀川全流域(R_2)とすることで, 高い効用を得られる. 一方, 設置コスト負担割合については, 全額負担することが難しいことから半額負担(C_0)の選択がより高い効用を与えている. 農家の買取価格に対する選好が反映され, 農業協同組合JAを介さない独自の流通経路(D_1)により, 全体で高い効用を得られる. また, モニタリング活動によって買取価格が上昇するため, モニタリング活動を行うこと(M_1)で高い効用を得ている.

3.5 感度解析

単一属性の属性値や, 効用関数の同定は意思決定者が主観的に評価するため, これらの微小な変化により代替案の選好順序が変わってしまうことが考えられる. 本論文では, 各代替案に対する最下位属性の属性値, 各単一属性 X_i の不確実な結果を伴うくじに対する確実同値 \hat{x}_i , 各属性のスケール定数 k_i について, それぞれの微小な変化に対する代替案の選好順序の感度解析を行った. その結果, 図2に示される上位10位の代替案の選好順序が変化

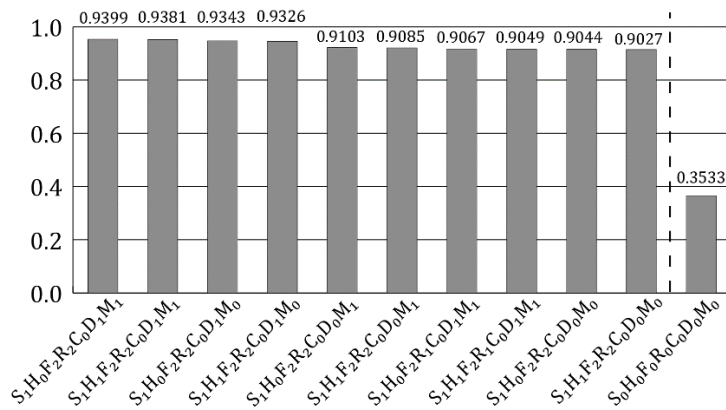


図 2: 上位10代替案と慣行農業の期待効用値

することはなかった。このことから、本論文で提案する農業政策モデルのうち、代替案 $S_1H_0F_2R_2C_0D_1M_1$ の農業政策モデルが宮崎県大淀川流域における自然環境問題対策として最も適切であることが確認された。

4. まとめ

本論文では、促成栽培が盛んに行われている宮崎県において、ビニールハウスの温度を上げるために用いられる石油ボイラーによる空気汚染、また農業を行う際に使用する化学肥料の連続的な投与による土壌汚染、河川汚染といった問題に対して、太陽エネルギーなどを利用した新しい農業政策モデルを提案し、多属性効用分析を用いて評価した。

本論文では、意思決定者は宮崎県農業政策立案の責任者であるとし、農業政策モデルの代替案は、太陽熱利用法、コストの負担割合、ビニールハウスの形態、肥料の種類、適用規模、流通経路、モニタリング活動の7つの項目から特徴づけられ、合計300種類の代替案を評価した。その結果、太陽熱温水器を利用し(S_1)、二重構造ビニールハウスを利用し(H_0)、使用する肥料は有機肥料(F_2)、適用範囲は大淀川流域全域(R_2)、設置コストは半額負担(C_0)、流通経路はJAを介さず(D_1)、モニタリング活動を行う(M_1)という代替案が最も期待効用値が高く、望ましい代替案であるという結果が得られた。また、慣行の農業の期待効用値は300の代替案のうち最も低いことから、現在行われている農業と比較して望ましい代替案の提案をすることができた。

参考文献

1) C.A. Bana and A. Carlos, "A methodology for sensitivity analysis in three-criteria problems: A case study in

municipal management", *European Journal of Operational Research* **33**, pp. 159-173, 1988.

2) 後藤, 小南, 深山, 玉井, 金澤: 京都府南部地方における広葉樹二次林の地上部現存量及び純生産量, 森林総合研究報告 **2**, pp. 115-147, 2003.

3) T. Hayashida, I. Nishizaki and Y. Ueda, "Multiattribute utility analysis for policy selection and financing for the preservation of the forest," *European Journal of Operational Research* **200**, pp. 833-843, 2010.

4) A. Jimenez, S. Rios-Insua and A. Mateos, "A decision support system for multiattribute utility evaluation based on imprecise assignment," *Decision Support Systems* **36**, pp. 65-79, 2003.

5) R.L. Keeney and H. Raiffa, *Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*, Wiley, New York, 1976.

6) R.L. Keeney and D. von Winterfeldt, "Managing nuclear waste from power plants", *Risk Analysis* **14**, pp. 107-130, 1994.

7) 松倉: ソーラーシステム・データブック 2010, (社) ソーラーシステム振興協会, 2010.

8) T. Prato and G. Herath, "Multiple-criteria decision analysis for integrated catchment management," *Ecological Economics* **63**, pp. 627-632, 2007.

9) 瀬尾, 西, 熊本, 杉崎, 長谷川, 瀬尾: オブジェクト指向型プログラミングによる多属性効用分析: MAP, 京都大学経済研究所ディスカッションペーパー9208, 1993.

10) F. Seo, I. Nishizaki and H. Hamamoto, "Development of interactive software for multiobjective decision analysis: MIDASS," *Cybernetics and Systems* 2004, ed. by R. Trappl, Austrian Society for Cybernetic Studies, pp. 475-480, 2004.

- 11) F. Seo, I. Nishizaki and H. Hamamoto, "Development of Interactive Support Systems for Multiobjective Decision Analysis under Uncertainty: MIDASS," *Kyoto Institute of Economic Research, Discussion Paper* **637**, 2007.
- 12) A. Sichertman, "An interactive computer program for assessing and using multiattribute utility functions," *Technical Report* **111**, Operations Research Center, MIT, 1975.
- 13) 農林水産省：農林水産省統計情報，<http://www.maff.go.jp/j/tokei/index.html> (online).
- 14) 政府統計の総合窓口-平成 19 年生鮮食料品価格・販売動向調査報告-，<http://www.estat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001032115> (online).
- 15) 政府統計の総合窓口平成 19 年産品目別経営統計-：<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001061833> (online).
- 16) 農林水産省：特別栽培農産物に係る表示ガイドライン，http://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/pdf/tokusai03.pdf (online).
- 17) 水文水質データベース：<http://www1.river.go.jp/> (online).
- 18) 政府統計の総合窓口平成 19 年青果物卸売市場調査報告主要都市の月別野菜の卸売数量・価額・価格：<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001054819> (online).
- 19) 農林水産省，平成 19 年度食料品消費モニター第 4 回定期調査結果：<http://www.maff.go.jp/j/heyahmoniter/index.html> (online).
- 20) 農林水産省，トレーサビリティ関係：<http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/trace/> (online).
- 21) 社団法人食品需給研究センター：トレーサビリティシステム導入事例集-平成 16 年度農林水産省消費・安全局補助トレーサビリティシステム開発事業，<http://www.fmric.or.jp/trace/h16/casestudy/casestudyfull.pdf> (online).
- 22) 宮崎県，職員の平均給与月額，初任給等の状況，http://www.pref.miyazaki.lg.jp/contents/org/somu/jinji/jinjigyosei/page00041_0202.html (online).
- 23) 平成 21 年産野菜生産出荷実績：<http://www.pref.miyazaki.go.jp/parts/000136895.pdf> (online).
- 24) 農林水産省：特別栽培農産物に係る表示ガイドライン，http://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/tokusaia.html (online).
- 25) 野菜の流通経路と野菜の値段が決められるしくみ：[http://yasainokatuyoujyutu.blog86.fc2.com/blog-entry-](http://yasainokatuyoujyutu.blog86.fc2.com/blog-entry-64.html)

64.html (online).

- 26) 株式会社山武：<http://www.azbil.com/jp/> (online).

平成25年10月22日 受理