

収益性の向上と汚濁負荷管理を目的とした
作付計画における多目的最適化モデル
Multi-objective Optimization Model for Crop Planning
Considering Agricultural Profit and Pollutant Load Management

○長野 峻介・前田 滋哉・河地 利彦

○Shunsuke Chono, Shigeya Maeda and Toshihiko Kawachi

1 はじめに

近年、環境への負荷を抑えた環境保全型農業に関心が寄せられている。その一方で、農業の収益性の向上もまた従来からの重要な課題である。こうした状況の下、農業の分野で数理計画モデルを用いた様々な研究^{[1][2][3]}がなされている。しかし、環境への負荷を抑制しつつ収益性の向上を目指す多目的最適化モデルを扱った研究は少ない。本研究では、低平地に圃場を持つ集落営農組織が、稲の収穫後の作付計画を行う場面を想定し、圃場一筆ごとの作付の意思決定モデルを開発した。農業の周辺環境の変化の大きさを考慮し収益係数をファジィ数として扱いながら収益性の向上を目指し、また農地組織から排出される汚濁負荷量を抑制する多目的最適化モデルを、重み係数法を組み合わせた混合 0-1 計画問題として定式化した。

2 多目的最適化モデル

本モデルでは、圃場一筆ごとに N_j 個の 0 か 1 の整数値をとる決定変数 IX_{ij} を設定し、すべての圃場の決定変数の最適解を求めることで、管理する農地全体の作付を決定する。例えば、最適解において $IX_{i_1 j_1}$ の値が 1 と求められた場合（このとき、圃場 i_1 での残り $N_j - 1$ 個の決定変数の値は 0）、圃場 i_1 では j_1 が表す作付パターンを行うことが提案される。農地組織外へ排出する汚濁負荷量の抑制、農地組織全体での期待収益の向上を意図した関数を目的関数 (f_1, f_2) に設定し、転作圃場の最適配置モデルを以下のように混合 0-1 計画問題として定式化する。ここで、多目的最適化手法として重み係数法を用い、各目的関数に重み係数 (w_1, w_2) を乗じて、その和を最小化する。また、粗収益係数をファジィ数として“農地組織全体での収益は変数 $R(\text{yen})$ よりだいたい大きい”とするファジィ目標を設定し、目的関数 f_2 において $-R$ を最小化 (R を最大化) することにより、農地組織全体での収益性を向上を意図する。

$$\text{Minimize } f = \sum_{m=1}^{N_m} w_{1m} f_{1m} + w_2 f_2 \quad (1)$$

where

$$f_{1m} = \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{j=1}^{N_j} A_i L_{j m} e^{\sum_{n=1}^{N_n} (-\lambda_{m n} d_{i n})} IX_{ij} \quad (2)$$

$$f_2 = -R \quad (3)$$

$$\sum_{m=1}^{N_m} w_{1m} + w_2 = 1 \quad (4)$$

subject to :

$$IX_{ij} = 0 \text{ or } 1, \quad \forall i, j \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{N_j} IX_{ij} = 1, \quad \forall i \quad (6)$$

$$\mu \left(\sum_{k=1}^{N_k} \sum_{i \in \Omega_k} \sum_{j=1}^{N_j} A_i (P_{j k l} - C_{j k}) IX_{ij} \right) \geq p_l, \quad \forall l \quad (7)$$

$$\sum_{l=1}^{N_l} p_l = 1 \quad (8)$$

$$\mu(t) = \begin{cases} 0, & (0 \leq t < R - d) \\ \frac{t - R}{d} + 1, & (R - d \leq t < R) \\ 1, & (R \leq t) \end{cases} \quad (9)$$

ここで、下付添字 i は圃場、下付添字 j は作付パターン、下付添字 k は圃場ブロック（圃場の地力や栽培設備、気象条件の違いにより差異が生じる単収、生産費を、圃場ブロック別に区別する）、下付添字 l は粗収益係数セット、下付添字 m は水質項目、下付添字 n は排水路を示す。また、 f は合成目的関数、 w_1, w_2 は重み係数、 N_i は対象農地組織内の圃場の数、 N_j は作付パターンの数、 N_k は圃場ブロックの数、 N_l は粗収益係数セットの数、 N_m は水質項目の数、 N_n は排水路の数、 Ω_k は圃場ブロック k にある圃場の集合、 A_i は圃場 i の面積 (m^2)、 L_{jm} は作付作物 j の場合での水質項目 m の排出原単位 ($g/m^2/s$)、 λ_{mn} は排水路 n 内における水質項目 m の汚濁負荷量の自浄係数 (m^{-1})、 d_{in} は圃場 i から排水路末端までにおける排水路 n に沿った流下距離 (m)、 P_{jkl} は粗収益係数セット l における圃場ブロック k における作付パターン j での栽培作物による粗収益係数 (yen/m^2)、 p_l は粗収益係数セットの発生確率、 C_{jk} は圃場ブロック k における作付作物 j での物財費係数 (yen/m^2)、 $\mu(t)$ はファジィ数 t に対するメンバーシップ値、 d は意思決定者によって決められる定数 (yen) である。

3 適用

図 1 に示した滋賀県 K 地区の農地組織に最適化モデルを適用する。ただし、実際にはこの地区は複数の農家によって耕作されているが、モデルの適用にあたり一つの集落営農組織によって管理されていると仮定する。

作付は稲作跡稲作、稲作跡転作、転作跡稲作、転作跡転作の 4 パターンを考え、それぞれ $j = 1, \dots, 4$ とする。そこで、最適化モデルの制約条件に以下の式を加える。

$$\sum_{j \in \{1,2\}} IX_{ij} = 1, \quad \forall i \in \Omega^r \quad (10)$$

$$\sum_{j \in \{3,4\}} IX_{ij} = 1, \quad \forall i \in \Omega^c \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{N_i} \sum_{j \in \{2,4\}} A_i IX_{ij} / \sum_{i=1}^{N_i} A_i \leq \frac{\bar{\alpha}}{100} \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^{N_i} \sum_{j \in \{2,4\}} A_i IX_{ij} / \sum_{i=1}^{N_i} A_i \geq \frac{\underline{\alpha}}{100} \quad (13)$$

ここで、 Ω^r, Ω^c は稲作跡、転作跡圃場の集合、 $\bar{\alpha}, \underline{\alpha}$ は転作率の上限および下限 (%) である。

転作圃場では小麦・大豆二毛作を行うとし、各粗収益係数、物財費等の値は全国の統計データ^{[4][5]}をも

とに設定する。粗収益係数セットに 5 年分のデータを用いる (1 年分が 1 セット) 場合、 $p_l = 1/5 (VI)$ となるが、意思決定者 (経営者) の経験や知識をもとに粗収益係数および p_l の値はあいまいな推測値を設定することも可能である。また、排出原単位 (L_{jm}) および自浄係数 (λ_{mn}) は、対象地の圃場からの排水および排水路内での流水のサンプルを採取し、硝酸態窒素、アンモニア態窒素、全リンの水質項目についての水質分析をもとに定める。

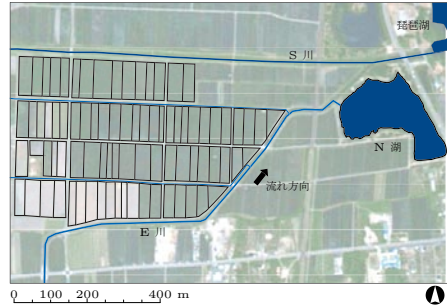


図 1 K 地区農地組織
Fig. 1 Field plots in K-district

4 おわりに

農地組織全体での収益性の向上と農地組織外へと排出される汚濁負荷量の抑制を目的とした、圃場一筆ごとの作付を決定する多目的最適化モデルを開発した。今後は天候や圃場内での農作業、作物の生育状況などにより変化する排出原単位や水路内での浄化作用の不確実性を考慮したモデルへと改良していく予定である。

参考文献

- [1] Khanna, M., Yang, W., Farnsworth, R. and Onal, H. (2003) : Cost-Effective Targeting of Land Retirement to Improve Water Quality with Endogenous Sediment Deposition Coefficients, *American Journal of Agricultural Economics*, 85(3), 538-553. [2] 土田志郎 (1992) : 良質米生産地域における水田輪作の成立条件-線形計画法による稲・麦・大豆作経営のモデル分析-, *農業経営研究*, 30(2), 46-55. [3] Itoh, T., Ishii, H. and Nanseki, T. (2003) : A Model of Crop Planning under Uncertainty in Agricultural Management, *International Journal of Production Economics*, 81-82, 555-558. [4] 農林水産省大臣官房統計部 (2007) : 平成 18 年個別経営の営農類型経営統計 (水田作経営). [5] 農林水産省大臣官房統計部 (2008) : 平成 19 年産 米生産費・小麦生産費 (個別経営)・大豆生産費 (個別経営) .