

重み係数法を用いた転作圃場の多目的最適配置

Multi-objective Optimal Layout of Field Plots

Cultivated with Rice or Upland Crop Using Weight Method

○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、従来から農業の収益性を向上させることは重要な課題である。こうした状況の中で、農業の分野で数理計画法を用いた様々な研究^{[1][2]}がなされているが、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、収益性を確保しながら、農地組織から排出される全窒素 (T-N) 負荷量を抑制する転作圃場の配置を導く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する。

2 多目的最適化モデル

本モデルでは、各圃場において 4 つの 0-1 決定変数 $x^{rR}, x^{cR}, x^{rC}, x^{cC}$ を設定し、これらの値を最適解として求めることで各圃場での次の栽培作物を決定する。例えば、圃場 i において x_i^{rC} が 1 の場合、他の 0-1 決定変数の値は 0 となり、圃場 i では x_i^{rC} が表す“稲作跡での転作”を行うことが提案される。このように全圃場の 0-1 決定変数の解を求めることで転作を行う圃場が定まる。農地組織外への排出負荷量を最小化させること、期待収益を最大化させることを目的関数 (f_1, f_2) に設定し、収益変動の上限、転作率の下限などを制約条件により定め、転作圃場の最適配置モデルを以下のように定式化する。ここで、多目的最適化手法として重み係数法を用いており、各目的関数に重み係数 (w_1, w_2) を乗じて、その和を最小化している。

$$\text{Minimize } f = w_1 f_1 + w_2 f_2 \quad (1)$$

where

$$f_1 = \sum_{i=1}^{N_i} \left(A_i L_i^{rR} e^{-\lambda d_i} x_i^{rR} + A_i L_i^{cR} e^{-\lambda d_i} x_i^{cR} + A_i L_i^{rC} e^{-\lambda d_i} x_i^{rC} + A_i L_i^{cC} e^{-\lambda d_i} x_i^{cC} \right) \quad (2)$$

$$f_2 = - \left(\sum_{j=1}^{N_j} \sum_{i \in \Omega_j} A_i \left((\bar{P}_j^{rR} - C_j^{rR}) x_i^{rR} + (\bar{P}_j^{cR} - C_j^{cR}) x_i^{cR} + (\bar{P}_j^{rC} - C_j^{rC}) x_i^{rC} + (\bar{P}_j^{cC} - C_j^{cC}) x_i^{cC} \right) + S \right) \quad (3)$$

$$w_1 + w_2 = 1 \quad (4)$$

subject to :

(i) 決定変数の 0-1 条件

$$\begin{aligned} x_i^{rR} &= 0, 1 & x_i^{cR} &= 0, 1 \\ x_i^{rC} &= 0, 1 & x_i^{cC} &= 0, 1 \end{aligned} \quad (\forall i) \quad (5)$$

(ii) 各圃場での作付作物の制約条件

$$x_i^{rR} + x_i^{rC} + x_i^{cR} + x_i^{cC} = 1 \quad (\forall i) \quad (6)$$

(iii) 稲作跡、転作跡圃場での制約条件

$$\begin{aligned} x_i^{rR} + x_i^{rC} &= 1 \quad (\forall i \in \Omega^r) \\ x_i^{cR} + x_i^{cC} &= 1 \quad (\forall i \in \Omega^c) \end{aligned} \quad (7)$$

(iv) 粗収益の年次偏差 (マイナス方向) 絶対値の制約条件

$$D_k^- \geq 0 \quad (k = 1, 2, \dots, N_k) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^{N_j} \left((\bar{P}_j^{rR} - P_{jk}^{rR}) \sum_{i \in \Omega_j} A_i x_i^{rR} \right. \\ & + (\bar{P}_j^{cR} - P_{jk}^{cR}) \sum_{i \in \Omega_j} A_i x_i^{cR} \\ & + (\bar{P}_j^{rC} - P_{jk}^{rC}) \sum_{i \in \Omega_j} A_i x_i^{rC} \\ & \left. + (\bar{P}_j^{cC} - P_{jk}^{cC}) \sum_{i \in \Omega_j} A_i x_i^{cC} \right) \\ & - D_k^- \leq 0 \quad (k = 1, 2, \dots, N_k) \end{aligned} \quad (9)$$

(v) 粗収益の年次偏差 (マイナス方向) の上限制約条件

$$\frac{1}{N_k} \sum_{k=1}^{N_k} D_k^- \leq \alpha \quad (10)$$

(vi) 転作率の下限制約条件

$$\sum_{i=1}^{N_i} A_i(x_i^{rC} + x_i^{cC}) / \sum_{i=1}^{N_i} A_i \geq \frac{\beta}{100} \quad (11)$$

ここで、上付添字 r, c は稲作跡, 転作跡, 上付添字 R, C は稲作, 転作, 下付添字 i は圃場番号, 下付添字 k は年度番号を表し, f は合成目的関数, w_1, w_2 は重み係数, x_i^{rR}, x_i^{rC} は稲作跡圃場 i において次の作付での稲作か転作かを識別する 0-1 決定変数, x_i^{cR}, x_i^{cC} は転作跡圃場 i において次の作付での稲作か転作かを識別する 0-1 決定変数, N_i は対象農地組織内の圃場の数, Ω^r, Ω^c は稲作跡, 転作跡圃場の番号集合, 下付添字 j は圃場ブロック番号 (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), Ω_j は圃場ブロック j の集合, N_j は圃場ブロックの数, A_i は圃場 i の面積 (m^2), $L_i^{rR}, L_i^{cR}, L_i^{rC}, L_i^{cC}$ は稲作跡稲作, 転作跡稲作, 稲作跡転作, 転作跡転作の場合での圃場 i からの T-N 排出原単位 ($g/m^2/day$), λ は排出負荷量の排水路内での自浄係数 (m^{-1}), d_i は圃場 i から支線排水路末端までの排水路に沿った流下距離 (m), $\bar{P}_j^{rR}, \bar{P}_j^{cR}, \bar{P}_j^{rC}, \bar{P}_j^{cC}$ は圃場ブロック j における稲作跡稲作, 転作跡稲作, 稲作跡転作, 転作跡転作での平均粗収益係数 (yen/m^2), $C_j^{rR}, C_j^{cR}, C_j^{rC}, C_j^{cC}$ は圃場ブロック j における稲作跡稲作, 転作跡稲作, 稲作跡転作, 転作跡転作での物財費 (yen/m^2), S は助成金 (yen), N_k は年数, D_k^- は k 年度における粗収益のマイナス方向偏差の絶対値 (yen), $P_{jk}^{rR}, P_{jk}^{cR}, P_{jk}^{rC}, P_{jk}^{cC}$ はタイプ j 圃場での稲作跡稲作, 転作跡稲作, 稲作跡転作, 転作跡転作での k 年度における粗収益係数 (yen/m^2), α は粗収益の年次偏差の上限值 (yen), そして, β は転作率の下限值 (%) 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, 実際にはこの地区で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。また, 転作圃場では小麦-大豆二毛作を行うとし, 各粗収益係数, 生産費等の値は全国の統計データ [3][4] の値を参考にする。原単位 ($L^{rR}, L^{cR}, L^{rC}, L^{cC}$) は 2.24, 2.24, 2.99, 3.75 $g/m^2/day$ とし [5], 式 (3) の助成金 S については, 次のように平成 22 年度水田活用自給率向上事業 (S_1), 米戸別所得補償モデル事業 (S_2), 生産条件不利補正対策 (S_3) によ

る助成金を考慮する。

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad (12)$$

$$S_1 = s_1 \sum_{i=1}^{N_i} A_i(x_i^{rC} + x_i^{cC}) \quad (13)$$

$$S_2 = s_2 \left\{ \sum_{i=1}^{N_i} A_i(x_i^{rR} + x_i^{cR}) - 1000h \right\} \quad (14)$$

$$S_3 = \sum_{j=1}^{N_j} \sum_{i \in \Omega_j} \left\{ x_i^{rC} A_i(s_3^W \bar{Y}_j^{rW} + s_3^S \bar{Y}_j^{rS}) + x_i^{cC} A_i(s_3^W \bar{Y}_j^{cW} + s_3^S \bar{Y}_j^{cS}) \right\} + A^{s3} (s_3^W + s_3^S) \quad (15)$$

ここで, s_1, s_2, s_3 は各助成金の単価, h は世帯数, \bar{Y} は平均単収 (kg/m^2), A^{s3} は過去の転作面積 (m^2) である。 w_1 と w_2 に適当な値を代入し, 分枝限定法により解を求める。 w_1 (w_2) の大きさにより, 目的関数 f に対する f_1 (f_2) の寄与の大きさが変化する。

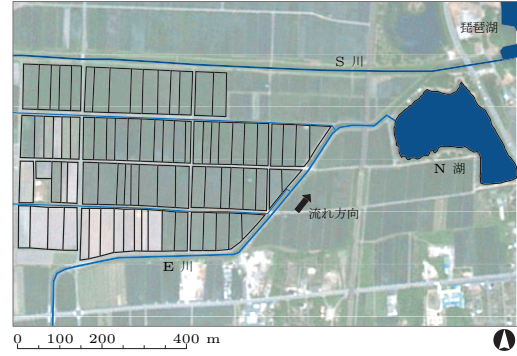


図 1 K 地区農地組織
Fig. 1 Farm plots in K-district

4 おわりに

汚濁負荷量の抑制と収益性の向上と考慮した転作圃場の配置を導く, 重み係数法を用いた多目的最適化モデルを開発した。今後の課題として, 排水流量や水路内での浄化作用の不確実性の考慮したモデルへの改良が挙げられる。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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)
- [4] 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)
- [5] 茨城県生活環境部霞ヶ浦対策課 (2001) : 第 4 期霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画