

排出負荷管理を目的とした転作圃場の最適配置

Optimal Layout of Farm Plots Cultivated with Rice or Upland Crop for 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、環境への負荷が小さい環境保全型農業に関心が寄せられている。その一方で、農業の収益性を向上させることも従来からの重要な課題である。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、環境への影響を考慮しつつ収益性の向上を同時に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、所望の収益を確保しながら、農地組織から排出される全窒素 (T-N) 負荷量を最小化する転作地の配置を導く最適化モデルを、混合 0-1 計画問題として定式化する。そしてこの最適化モデルを、滋賀県 K 地区の農地組織に適用した例を示す。

2 最適化モデル

本モデルでは、各圃場において 4 つの 0-1 変数 $x^{rR}, x^{cR}, x^{rC}, x^{cC}$ を設定し、これらの値を用いて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 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”を行うこととする。このように全圃場の 0-1 変数を求めることで転作を行う圃場が定まる。さらに、農地組織外への排出負荷量を最小化させることを目的関数に設定し、期待収益の下限、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定式化する。

Minimize

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

subject to :

(i) 変数の 0-1 条件

$$\begin{aligned} x_i^{rR} &= 0, 1 & x_i^{cR} &= 0, 1 \\ x_i^{rC} &= 0, 1 & x_i^{cC} &= 0, 1 \end{aligned} \quad (\forall i \in N) \quad (2)$$

(ii) 各圃場での作付作物の制約条件

$$x_i^{rR} + x_i^{rC} + x_i^{cR} + x_i^{cC} = 1 \quad (\forall i \in N) \quad (3)$$

(iii) 稲作跡、転作跡圃場での制約条件

$$\begin{aligned} x_i^{rR} + x_i^{rC} &= 1 \quad (\forall i \in N^r) \\ x_i^{cR} + x_i^{cC} &= 1 \quad (\forall i \in N^c) \end{aligned} \quad (4)$$

(iv) 期待収益の下限制約条件

$$\begin{aligned} f_2 = \sum_{j=1}^J \sum_{i \in N_j} A_i & \left((\bar{P}_j^{rR} - C_j^{rR}) x_i^{rR} \right. \\ & + (\bar{P}_j^{cR} - C_j^{cR}) x_i^{cR} + (\bar{P}_j^{rC} - C_j^{rC}) x_i^{rC} \\ & \left. + (\bar{P}_j^{cC} - C_j^{cC}) x_i^{cC} \right) + S \geq \epsilon_2 \end{aligned} \quad (5)$$

ここで

$$\begin{aligned} S = \sum_{j=1}^J \sum_{i \in N_j} A_i & (S^W \bar{Y}_j^W + S^S \bar{Y}_j^S) \\ & \times (x_i^{rC} + x_i^{cC}) + \bar{A}^c (S^w + S^s) \end{aligned} \quad (6)$$

(v) 粗収益の年次偏差 (マイナス方向) 絶対値の制約条件

$$D_k^- \geq 0 \quad (k = 1, 2, \dots, 5) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^J & \left((\bar{P}_j^{rR} - \hat{P}_{jk}^{rR}) \sum_{i \in N_j} A_i x_i^{rR} \right. \\ & + (\bar{P}_j^{cR} - \hat{P}_{jk}^{cR}) \sum_{i \in N_j} A_i x_i^{cR} \\ & + (\bar{P}_j^{rC} - \hat{P}_{jk}^{rC}) \sum_{i \in N_j} A_i x_i^{rC} \\ & \left. + (\bar{P}_j^{cC} - \hat{P}_{jk}^{cC}) \sum_{i \in N_j} A_i x_i^{cC} \right) \\ & - D_k^- \leq 0 \quad (k = 1, 2, \dots, 5) \end{aligned} \quad (8)$$

ここで

$$\hat{P}_{jk}^{rR} = \begin{cases} P_{jk}^{rR} & (P_{jk}^{rR} \geq \bar{P}_{jk}^{rR}) \\ P_{jk}^{rR} + 0.9(\bar{P}_{jk}^{rR} - P_{jk}^{rR}) & (P_{jk}^{rR} < \bar{P}_{jk}^{rR}) \end{cases} \quad (9)$$

($\hat{P}_{jk}^{rC}, \hat{P}_{jk}^{cR}, \hat{P}_{jk}^{cC}$ も同様に $P_{jk}^{rC}, P_{jk}^{cR}, P_{jk}^{cC}$ を用いて計算する)

(vi) 粗収益の年次偏差(マイナス方向)の上限制約条件

$$f_3 = \sum_{k=1}^5 D_k^- / 5 \leq \epsilon_3 \quad (10)$$

(vii) 転作率の下限制約条件

$$f_4 = \sum_{i \in N} A_i (x_i^{rC} + x_i^{cC}) / \sum_{i \in N} A_i \geq \epsilon_4 \quad (11)$$

ここで、下付添字 i は圃場番号、上付添字 r, c は稲作跡、転作跡、上付添字 R, C は稲作、転作、 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 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 変数、 N は対象農地組織内の圃場の集合、 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)、 N^r, N^c は稲作跡、転作跡圃場の集合、下付添字 j は圃場タイプ番号 (圃場タイプとは、圃場の地力や栽培設備、気象条件の違いにより生じる単収、生産費の差異をもとに各圃場を分類する型である)、 N_j はタイプ j 圃場の集合、 J は圃場タイプの数、 $\bar{P}_j^{rR}, \bar{P}_j^{cR}, \bar{P}_j^{rC}, \bar{P}_j^{cC}$ はタイプ j 圃場における稲作跡稲作、転作跡稲作、稲作跡転作、転作跡転作での過去 5 年間のうち中庸 3 年間の平均粗収益係数 (yen/m^2)、 $C_j^{rR}, C_j^{cR}, C_j^{rC}, C_j^{cC}$ はタイプ j 圃場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)、 ϵ_2 は期待収益の下限値 (yen)、 S^W, S^S は毎年の生産量・品質に基づく小麦・大豆に対する交付金 (yen/kg)、 S^w, S^s は過去の生産実績に基づく小麦・大豆に対する交付金 (yen/m^2)、 \bar{Y}_j^W, \bar{Y}_j^S はタイプ j 圃場での転作小麦、転作大豆の過去 5 年間のうち中庸 3 年間の平均単収 (kg/m^2)、 \bar{A}^c は過去の転作実績面積 (m^2)、 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)、下付添字 k は年度番号、 $\hat{P}_{jk}^{rR}, \hat{P}_{jk}^{cR}, \hat{P}_{jk}^{rC}, \hat{P}_{jk}^{cC}$ 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 年度における収入減少影響緩和対策により補てんされたの粗収益係数 (yen/m^2)、 $P_{jk}^{rR}, P_{jk}^{cR}, P_{jk}^{rC}, P_{jk}^{cC}$ 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)、 ϵ_3 は粗収益の年次偏差の上限值 (yen)、そして、 ϵ_4 は転作率の下限値である。

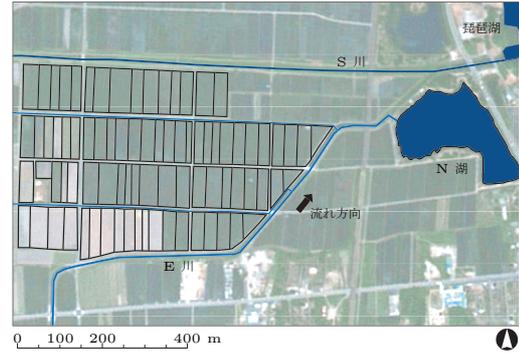


図 1 K 地区農地組織

Fig. 1 Farm plot in K-district

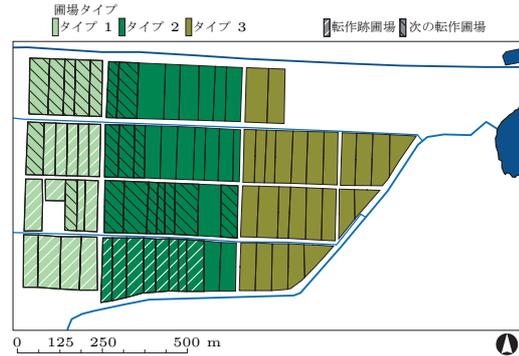


図 2 転作圃場の最適配置の一例

Fig. 2 Example of optimal farm plot layout

3 適用例

図 1 に示した滋賀県 K 地区の農地組織において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] の値を参考にした。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]、当該農地組織から排出され N 湖へ流入する負荷量を最小化することを目的とする。 $\epsilon_2=11,500,000$ (yen)、 $\epsilon_3=50,000$ (yen)、 $\epsilon_4=0.24$ とした場合に得られた転作圃場の配置を図 2 に示す。

4 おわりに

期待収益を確保しながら排出負荷量を最小化する転作地の最適配置モデルを開発し、適用例を示した。今後の課題としては水路内での自浄モデルの精緻化などが挙げられる。

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. and Yang, W. and 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 期霞ヶ浦の係る湖沼水質保全計画