

動物移動経路・餌場の確保と森林資源管理の離散最適化

吉本 敦 モデリング研究系 教授

動物移動経路・餌場形成:

分断された生息地間を移動できるように経路を形成、同時に経路内で餌場に適する場所も確保
上記の経路を維持しながら、集約伐採の最大許容面積条件下における森林資源管理の最適化を達成できるモデルを構築する

本研究の目的:

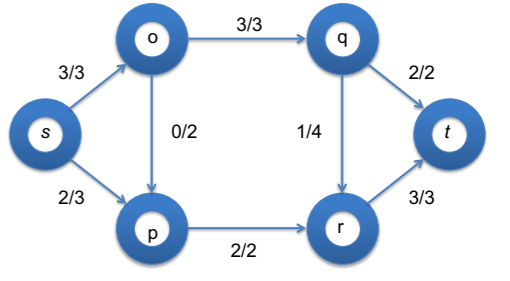
線形制約式により生息間移動経路と経路内での餌場確保を実現し、かつ集約伐採の最大許容面積制約下で森林資源管理の最適化モデルを構築

空間的制約:

1) 分断された生息地の連結、2) 経路内での餌場の確保、3) 集約伐採に伴うユニットの連結

時間的制約: 森林伐採

1) 森林管理地の非売買、期間毎の伐採量がある程度一定に確保



1. 生息地の連結の線形制約

Forage Maximum Flow Network for Corridor

Arc connection

$$y_{ij}^c + y_{ji}^c \leq 1, \quad j \in \text{NB}_i, \forall i$$

$$y_{i0}^c + \sum_{j \in \text{NB}_i} y_{ij}^c = 1, \quad \forall i$$

y_{ij}^c : arc connection from i to j node
 w_{ij}^c : flow from i to j node
 N^c : Number of habitats
 S^c : nodes for habitats

Corridor flow constraints

No connection, no flow

$$w_{ij}^c \leq N^c \cdot y_{ij}^c, \quad \forall j \in \text{NB}_i, \forall i$$

$$w_{i0}^c \leq N^c \cdot y_{i0}^c, \quad \forall i \in S^c$$

Flow balance, no leakage

$$w_{i0}^c + \sum_{j \in \text{NB}_i} w_{ij}^c = \sum_{j \in \text{NB}_i} w_{ji}^c + 1, \quad \forall i \in S^c$$

$$\sum_{j \in \text{NB}_i} w_{ij}^c = \sum_{j \in \text{NB}_i} w_{ji}^c, \quad \forall i \notin S^c$$

One connection, to super node

$$\sum_{i \in S^c} w_{i0}^c = N^c$$

$$\sum_{i \in S^c} y_{i0}^c = 1$$

2. 経路内餌場確保の線形制約

Forage Reserve Over Corridor

w_{ij}^f : forage low from i to j
 L_{\min}^f : Minimum forage
 S^f : nodes for forage
 \tilde{L} : total area

Maximum Flow Network for Forage Reserve

No connection, no flow

$$w_{ij}^f \leq \tilde{L} \cdot y_{ij}^c, \quad \forall j \in \text{NB}_i, \forall i$$

$$w_{i0}^f \leq \tilde{L} \cdot y_{i0}^c, \quad \forall i \in S^c$$

Flow balance, no leakage

$$\sum_{j \in \text{NB}_i} w_{ij}^f = \sum_{j \in \text{NB}_i} w_{ji}^f + L_i \cdot x_i^f, \quad \forall i \in S^f$$

$$w_{i0}^f + \sum_{j \in \text{NB}_i} w_{ij}^f = \sum_{j \in \text{NB}_i} w_{ji}^f, \quad \forall i \in S^c$$

$$\sum_{j \in \text{NB}_i} w_{ij}^f = \sum_{j \in \text{NB}_i} w_{ji}^f, \quad \forall i \notin (S^f \cup S^c)$$

Min forage

$$L_{\min}^f \cdot y_{i0}^c \leq w_{i0}^f, \quad \forall i \in S^c$$

3. 集約伐採ユニット形成の線形制約

Yoshimoto & Asante (2018)

Maximum Flow Constraints

$$y_{ij} + y_{ji} \leq 1, \quad \forall j(>i) \in \text{NB}_i, \forall i$$

$$y_{i0} + \sum_{j \in \text{NB}_i} y_{ij} = 1, \quad \forall i$$

$$w_{ij} \leq L_{\max} \cdot y_{ij}, \quad \forall j \in \text{NB}_i, \forall i$$

$$w_{i0} + \sum_{j \in \text{NB}_i} w_{ij} = \sum_{j \in \text{NB}_i} w_{ji} + L_i, \quad \forall i$$

$$\sum_{i=1}^m w_{i0} = \tilde{L}$$

$$w_{i0} \leq L_{\max} \cdot y_{i0}, \quad \forall i \in C$$

Sequential Triangle Connection

$$y_{ij}^{(n)} = y_{ij} + y_{ji}, \quad \forall j(>i) \in \text{NB}_i, \forall i$$

$$2 \cdot u_{ij}^{(n)} + 3 \cdot \sum_{k=1}^{n-1} u_{ik}^{(n)} \leq \sum_{k=1}^{n-1} (y_{ik}^{(n)} + y_{ki}^{(n)} + y_{kj}^{(n)}) \leq 2 \cdot u_{ij}^{(n)} + 3 \cdot \sum_{k=1}^{n-1} u_{ik}^{(n)} + 1, \quad \forall k(>j) \in (\text{MB}_i \cap \text{MB}_j), \forall j(>i) \in \text{MB}_i, \forall i, n = 1, \dots, N$$

$$3 \cdot u_{ij}^{(n)} \leq \sum_{k=1}^{n-1} (y_{ik}^{(n)} + y_{ki}^{(n)} + y_{kj}^{(n)}), \quad \forall k(>j) \in (\text{MB}_i \cap \text{MB}_j), \forall j(>i) \in \text{MB}_i, \forall i, n = 1, \dots, N$$

$$y_{ij}^{(n+1)} \leq \sum_{k=1}^n u_{ik}^{(n)}, \quad \forall j(>i) \in \text{MB}_i, \forall i, n = 1, \dots, N$$

$$\sum_{n=1}^N y_{ij}^{(n)} \leq 1, \quad \forall j(>i) \in \text{MB}_i, \forall i$$

4. 森林資源管理最適化Model I

$$\max_{\{x_{ih}\}} J = \sum_{i=1}^m \sum_{h=0}^H c_{ih} \cdot x_{ih} \quad \text{Max NPV}$$

$$\sum_{h=0}^H x_{ih} = 1, \quad \forall i \quad \text{Land accounting constraints}$$

$$(1 - \alpha) \cdot v_0 \leq \sum_{i=1}^m \sum_{h=1}^H v_{ih}^t \cdot x_{ih} \leq (1 + \alpha) \cdot v_0, \quad \forall t \quad \text{Harvest flow constraints}$$

施業変数

Unit	Area	Age	Harvest
1	100	6	10
2	100	6	10
3	100	6	10
4	100	6	10
5	100	6	10
6	100	6	10
7	100	6	10
8	100	6	10
9	100	6	10

5. 時空間変数連動の線形制約

Linkage Constraints for Unit Aggregation & Corridor Connection

$$a_{ih}^v \cdot x_{ih} + a_{jh}^v \cdot x_{jh} \leq 1, \quad \forall j(>i) \in \text{NB}_i, \forall i, \forall l(\neq 0, h), \forall h(\neq 0)$$

$$2 \cdot z_{ij}^h \leq x_{ih} + x_{jh} \leq 2 \cdot z_{ij}^h + 1, \quad \forall j(>i) \in \text{NB}_i, \forall i, \forall h(\neq 0)$$

$$\sum_{n=1}^N y_{ij}^{B(n)} = \sum_{h=1}^H z_{ij}^h, \quad \forall j(>i) \in \text{NB}_i, \forall i$$

$$x_{i0} = 1, \quad \forall i \in S^c$$

$$x_{i0} \geq \sum_{j \in \text{NB}_i} y_{ij}^c, \quad \forall i \notin S^c$$

No harvest for corridor

離散最適化モデル

MF-Model I with Corridor & Forage Reserve

- Model I
- 集約伐採ユニット形成
- 生息地連結形成
- 経路内餌場確保
- 時空間変数連動

MF-Model I_CF

結果

生息地連結・餌場確保下における最適伐採計画

計画期間5期・最大1回伐採(最小伐期齢6期)

- 最大集約面積 40ha
- 最小餌場面積 100ha

100ユニット
6生息地
22餌場

単独伐採
集約伐採
2伐期2

生息地連結のみ
生息地連結・餌場確保

単独伐採
集約伐採
2+9伐期2&9

生息地連結のみ
生息地連結・餌場確保