

A Study of Recycling of Dairy Waste

Hiroyuki Shibusawa

In this paper, I consider a waste management program in an agricultural area. There are two kinds of facilities: waste processing facilities and landfills. The local government plans the dairy waste management program to minimize the costs of transportation, disposal, and negative externalities. In order to examine the optimal location problem of dairy waste facilities and landfills and the optimal recycling system, a one-dimensional spatial model is constructed. We derive the optimal spatial structure of dairy waste facilities and show the critical point of the recycling ration.

酪農廃棄物の再資源化に関する研究

渋澤博幸

1. はじめに

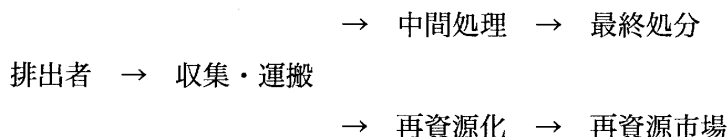
本稿では、酪農廃棄物の静脈過程のモデル化を行い、廃棄物処理の効率的運営に関する分析を行う。廃棄物の収集・輸送、再資源化、環境汚染による負の外部性を伴う廃棄物処理施設をモデル化し、最適な廃棄物処理施設（中間処理施設と最終処理施設）の立地パターンと廃棄物の再資源化率について検討する。

廃掃法によれば、廃棄物は産業廃棄物と一般廃棄物に大別される。一般廃棄物のごみと尿尿に分類され、さらにごみは生活系ごみと事業系ごみに分類される。我が国では、一般廃棄物は地方自治体が、また産業廃棄物は排出事業者が責任を持って処理しなければならない。

廃棄物を産業廃棄物と一般廃棄物とに区別する根拠は、経済学的には処理事業に関する市場の存在可能性に依拠すると考えられる。一般的に、企業が排出する産業廃棄物は大量、定期的かつ均質であるため廃棄物、再生資源市場が成立しやすい。家計が排出する一般廃棄物は、主体は多数であるが一回の排出量は少ない。一般廃棄物の収集業務と料金徴収に多大な費用を必要とし、集中処理には適するがその設備投資の固定費が大きく、古紙や空き缶など一部を除いて再生資源化に多大な費用がかかり採算性がきわめて低いことなどから、一般廃棄物については市場が成立しにくいとされる。

同様に、酪農経営から排出される家畜糞尿については、廃棄物は定期的に排出されるが、経営主体は企業レベルよりむしろ家計レベルであり、主体も広い空間に分布しており、部分的に一般廃棄物と類似の性質を備え、再生資源市場が成立しにくい状況にある。

廃棄物の一般的な静脈プロセスを以下に示す。廃棄物は、排出者から収集運搬され、中間処理・再資源化を経て、再資源化されたものは再生資源市場へ、さもなければ最終処分される。



中間処理施設は再資源化、焼却、中和、乾燥などの処理を行い、最終処理施設で廃棄物が処理される。中間処理施設における、廃棄物の再資源化、減量化及び減容化は運搬費用の削減と最終処分費用を削減する。地方政府が、この静脈プロセスを管理する場合には、効率的な運営が要求される。

廃棄物とリサイクルに関する文献は数多く存在する。例えば、吉野（1996）は、経済学的な観点から、我が国における廃棄物処理と再生資源市場の実態について考察し、資源リサイクルが成立する市場条件について検討している。小泉・萩原（1998）は東京都における廃棄物の問題を検討している。デポジット制度についての明解な理論的な分析としては藤岡（1998）がある。さらにリサイクルを天然資源の動学的問題としてとらえる文献はいくつかみられるが（e.g. Smith 1972, Hoel 1978 and Schulze 1974）、空間を明示的に考慮した理論的分析は数少ない。Highfill, McAsey and Weinstein（1994）は、リサイクルセンターのモデル化を行い、二次元空間において、最終処理施設の立地点を所与とし、最適なりサイクルセンターの立地点と最適なりサイクル率を決定した。Ye and Yezer（1997）は、廃棄物処理施設の立地問題に関して、経済的効率による解と集团的選択による解を比較検討している。本稿では、中間処理施設と最終処理施設の最適立地パターン、中間処理施設の再資源化率の最適化、及び環境汚染の影響を考慮したより一般的な枠組みを提供する。

本稿では、地方政府による家畜糞尿の静脈プロセスの運営を想定する¹⁾。地方政府による廃棄物処理過程のモデル化を行う。家畜糞尿の収集・運搬を検討するため、空間が明示的に考慮される。収集・運搬、中間処理施設と最終処理施設のモデル化を行い、最適な施設数、立地点及び再資源化率を導出し、簡単な比較静学の結果を示す。本モデルにより、最適な再資源化率には臨界点が存在し、臨界点を越えた場合、最適再資源化率が1となることが示される。

2. モデル

長さ X の線形空間を考える。この空間には均一に農家（酪農）が分布している。その密度は D であり、各農家は q （トン／農家）の廃棄物を排出する。この経済には廃棄物処理施設として、 N の中間処理施設（バイオガスプラント、堆肥化施設など）と M の最終処理施設が存在する。廃棄物は中間処理施設に収集され、再資源化あるいは減量・減容化の処理を受ける。再資源化されない廃棄物は、最終処理施設で処理される。（図1, 2）

1, 2節では、再資源化率を所与とした場合の中間処理施設と最終処理施設のモデル化を行い、両施設の最適立地パターンを導出する。3節では環境汚染の影響を分析し、4節で最適な再資源化率を検討する。

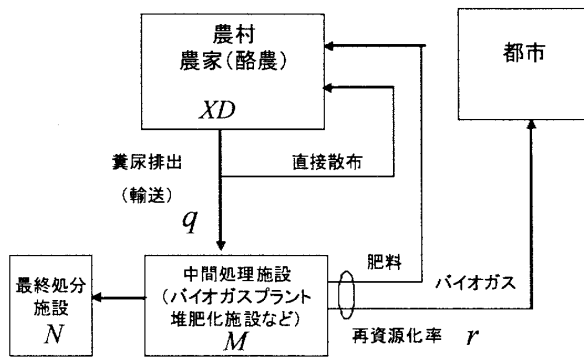


図1 循環構造

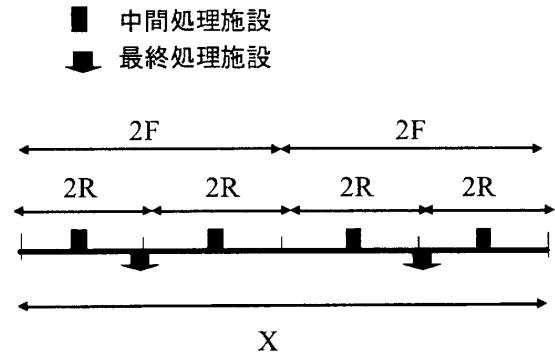


図2 農村空間

2.1 中間処理施設

中間処理施設の費用が次式で表されるとする。

$$C_{ID} = mQ_I + s(\gamma)\gamma Q_I + K_R$$

Q_I はこの中間処理施設が処理する廃棄物の量である。 m は廃棄物処理の限界費用、 K_R は処理施設の固定費用である。 $\gamma(0 \leq \gamma \leq 1)$ は再資源化率であり、ごみの γQ_I が再資源化される。 $s(\gamma)$ は分別などの再資源化に要するための費用であり、再資源化率に依存する。一般的に廃棄物の再資源化は、再資源化率に応じて費用が増加すると考えられるので、

$$s(\gamma) = s\gamma^z \quad (s > 0, z > 0)$$

を仮定する。全中間処理施設 N の費用は次式となる。

$$NC_{ID} = N((m + s\gamma^{z+1})Q_I + K_R)$$

一つの中間処理施設が管理する領域(市場)の長さを $2R$ とすれば、

$$2R = X/N \quad (1)$$

である。ある中間処理施設が処理する廃棄物の量は次式で与えられる。

$$Q_I = 2qDR \quad (2)$$

ここで、領域 $2R$ のある立地点 x に中間処理施設が立地している状況を考える。このとき、この領域 $2R$ の廃棄物を中間処理施設まで輸送する費用は次式で計算できる。

$$C_{IT} = \int_0^x tqDrd + \int_x^{2R} tqD(r-x)dr = tqD(x^2 + 2R^2 - 2Rx) \quad r \in [0, 2R]$$

ここで、 t は廃棄物1単位・キロたりの輸送費用である。ここで、この領域内の輸送費を最小化する中間処理施設の立地点は、 $\partial C_{IT} / \partial x = 0$ から

$$x = R \quad (3)$$

となる。これは、中間処理施設が領域 $2R$ の中心に立地することを意味する。中間処理施設の総費用は次式で与えられる。

$$C_I = N(C_{ID} + C_{IT}) = N[2(m + \gamma^{z+1}s)qDR + K_R + tqD(x^2 + 2R^2 - 2Rx)]$$

(1)と(3)式を用いれば、

$$C_I = \frac{X}{2} \left[2(m + s\gamma^{z+1})qD + \frac{K_R}{R} + tqDR \right]$$

ここで、一つの間処理施設が管理する最適な領域 $2R$ の長さを求める。 $\partial C_I / \partial R = 0$ から、最適な領域の長さと同処理施設数は

$$R = \sqrt{\frac{K_R}{tqD}}, \quad N = \frac{X}{2R} = X \sqrt{\frac{tqD}{4K_R}} \quad (4)$$

となる。ここで、 $\partial R / \partial K_R > 0$, $\partial R / \partial D < 0$, $\partial R / \partial q < 0$ 及び $\partial R / \partial t < 0$ である。

中間処理施設についてある農家が負担する費用を p_I とする。平均費用による徴収を仮定すれば、この線形空間の農家数が XD であることから、次のように表される。

$$p_I = \frac{C_I}{XD} = \frac{1}{2D} \left[2(m + s\gamma^{z+1})qD + \frac{K_R}{R} + tqDR \right]$$

2.2 最終処理施設

中間処理施設では、廃棄物が処理され、そのうち γ の割合の廃棄物が再資源化され、 $(1-\gamma)$ の廃棄物は最終処理施設まで運ばれ処理される。ここでは、各農家から直接最終処理施設まで運ばれる廃棄物やその他企業の産業廃棄物は考えない。中間処理施設の空間上の密度 G は、

$$G = N/X \quad (5)$$

として与えられる。ある最終処理施設の費用は

$$C_{FM} = K_F$$

とし、固定費 K_F のみからなる。最終処理施設の数 M とすれば、一つの間処理施設が管理する領域(市場)の長さ $2F$ は、

$$2F = X/M \quad (6)$$

となる。また、一つの間処理施設の処理量は Q_I なので、ある領域 $2F$ に立地する最終処理施設が処理する廃棄物の量 Q_F は次式で与えられる。

$$Q_F = 2(1-\gamma)Q_I GF \quad (7)$$

長さ $2F$ の y の地点に最終処理施設が立地しているものとすれば、領域 $2F$ の間処理施設から廃棄物を最終処理施設まで運ぶ輸送費用は次式で計算できる。

$$\begin{aligned} C_{FT} &= \int_0^y \theta(1-\gamma)Q_I G r dr + \int_y^{2F} \theta(1-\gamma)Q_I G (r-y) dr \quad r \in [0, 2F] \\ &= \theta(1-\gamma)Q_I G (y^2 + 2F^2 - 2yF) \end{aligned}$$

ここで、 θ は廃棄物1単位・キロ当たりの輸送費用である。一般的に $\theta < t$ である。中間処理施設と同様にして、最終処理施設の立地点は次式で与えられる。

$$y = F/2 \quad (8)$$

(6)と(8)式を用いると、最終処理施設 M の総費用は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} C_F &= M(C_{FD} + C_{FT}) = M[K_F + \theta(1-\gamma)Q_I G(y^2 + 2F^2 - 2yF)] \\ &= \frac{X}{2} \left(\frac{K_F}{F} + \theta(1-\gamma)Q_I GF \right) \end{aligned}$$

ここで、(1)(2)及び(5)式より次式が成立することに注意せよ。

$$Q_I G = qD \quad (9)$$

最適な領域の長さを求めると

$$F = \sqrt{\frac{K_F}{\theta(1-\gamma)Q_I G}}, \quad M = X/2F = X \sqrt{\frac{\theta(1-\gamma)Q_I G}{4K_F}} \quad (10)$$

となる。ここで、 $\partial F/\partial K_F > 0$ 、 $\partial F/\partial G < 0$ 、 $\partial F/\partial Q_I < 0$ 、 $\partial F/\partial \theta < 0$ 及び $\partial F/\partial \gamma > 0$ である。最終処理施設についてある農家が負担する費用を p_F とする。平均費用による徴収を仮定すれば、この線形空間の農家数が XD であることから、

$$p_F = \frac{C_F}{XD} = \frac{1}{2D} \left[\frac{K_F}{F} + \theta(1-\gamma)Q_I GF \right]$$

となる。従って、中間処理施設と最終処理施設のために各農家が支払う費用は次式で与えられる。

$$p_g = p_I + p_F = \frac{1}{2D} \left[2(m + s\gamma^{z+1})qD + \frac{K_R}{R} + tqDR + \frac{K_F}{F} + \theta(1-\gamma)qDF \right]$$

(4)(9)及び(10)式を用いれば、次のように書き換えられる。

$$p_g = p_I + p_F = \sqrt{\frac{q}{D}} \left[(m + s\gamma^{z+1})\sqrt{qD} + \sqrt{tK_R} + \sqrt{\theta(1-\gamma)K_F} \right] \quad (11)$$

また中間処理施設数 N と最終処理施設数 M の比 κ は次式で与えられる。

$$\kappa = \frac{N}{M} = \sqrt{\frac{tK_F}{\theta(1-\gamma)K_R}}$$

一般的に、 $t > \theta(1-\gamma)$ であり、また大都市近隣においては、通常は最終処理施設を設置が困難であることから、 $K_R < K_F$ とすれば、 $N > M$ である。農村、地方都市のように最終処理施設の設定が比較的容易な場合は、 $K_R > K_F$ とすれば、 $N < M$ となろう。比較静学の結果をまとめる。

表1 比較静学1

	m	s	K_R	q	D	X	K_F	t	θ	γ
$R(N)$			+(-)	-(+)	-(+)	(+)		-(+)		
$F(M)$				-(+)	-(+)	(+)	+(-)		-(+)	-(+)
p_I	+	+	+	+	-			+		+
p_F				+	-		+		+	-
κ			-				+	+	-	+

2.3 環境汚染の影響

環境汚染は、中間処理施設と最終処理施設の規模（処理量）と両施設の空間的密度に依存すると仮定する。環境汚染が各農家（及び住民）に与える社会的費用が次式で表せるとしよう。

$$p_E = e(Q_I, G, Q_F, V)$$

$$\text{ここで, } \partial p_E / \partial Q_I > 0, \quad \partial p_E / \partial G > 0, \quad \partial p_E / \partial Q_F > 0, \quad \partial p_E / \partial V > 0$$

環境汚染は、各施設の規模を示す処理量 Q_R, Q_M と空間的密度を示す G, V に依存する。各施設の空間的密度は次式で定義され、それぞれ施設間の距離に反比例する。

$$G = \frac{N}{X} = \frac{X/2R}{X} = \frac{1}{2R}, \quad V = \frac{M}{X} = \frac{X/2F}{X} = \frac{1}{2F}$$

操作を容易にするために、線形関数を仮定する。

$$e(Q_I, G, Q_F, V) = \alpha Q_I + \beta G + \delta Q_F + \varepsilon V \quad (\alpha, \beta, \delta, \varepsilon > 0)$$

この経済が受ける環境汚染の総社会的費用 C_E は次のようになる。

$$C_E = DXe(Q_I, R, Q_F, F) = DX \left[2\alpha qDR + \frac{\beta}{2R} + 2\delta(1-\gamma)qDF + \frac{\varepsilon}{2F} \right]$$

従って、再資源化率を所与とする場合、地方政府の費用最小化問題は次のようになる。

$$\min_{\{x, y, R, F\}} C = C_I + C_F + C_E$$

$$\text{subject to } C_I = \frac{X}{2} \left\{ 2(m + s\gamma^{z+1})qD + \frac{K_R}{R} + tqD \left(\frac{x^2}{R} + 2R - 2x \right) \right\}$$

$$C_F = \frac{X}{2} \left\{ \frac{K_F}{F} + \theta(1-\gamma)qD \left(\frac{y^2}{F} + 2F - 2y \right) \right\}$$

$$C_E = \frac{X}{2} \left\{ 4\alpha qD^2 R + \frac{\beta D}{R} + 4\delta(1-\gamma)qD^2 F + \frac{\varepsilon D}{F} \right\}$$

一階の必要条件より、次の結果を得る。

$$x^* = R, \quad y^* = F, \quad R^* = \sqrt{\frac{K_R + \beta D}{qD(t + 4\alpha D)}}, \quad F^* = \sqrt{\frac{K_F + \varepsilon D}{(1-\gamma)qD(\theta + 4\delta D)}}$$

各農家が負担する費用 p_g^* は、以上の結果を用いて次のように書き表される。

$$\begin{aligned} p_g^* &= \frac{C_I + C_F + C_E}{XD} \\ &= \sqrt{\frac{q}{D}} \left[(m + s\gamma^{z+1})\sqrt{qD} + \sqrt{(t + 4\alpha D)(K_R + \beta D)} + \sqrt{(1-\gamma)(\theta + 4\delta D)(K_F + \varepsilon D)} \right] \quad (12) \end{aligned}$$

また、中間処理施設数 N^* と最終処理施設数 M^* の比 κ^* は次式で与えられる。

$$\kappa^* = \frac{N^*}{M^*} = \sqrt{\frac{(K_F + \varepsilon D)(t + 4\alpha D)}{(1-\gamma)(K_R + \beta D)(\theta + 4\delta D)}}$$

環境汚染を考慮しない場合と考慮した場合の施設間距離（もしくは施設数）の比も以下のように計算できる。

$$\kappa_{R/R^*} = \frac{R}{R^*} = \sqrt{\frac{K_R(t + 4\alpha D)}{t(K_R + \beta D)}} \quad \kappa_{F/F^*} = \frac{F}{F^*} = \sqrt{\frac{K_F(\theta + 4\delta D)}{\theta(K_F + \varepsilon D)}}$$

ここで、 $\partial\kappa_{R/R^*}/\partial\alpha > 0$ 、 $\partial\kappa_{R/R^*}/\partial\beta < 0$ 、 $\partial\kappa_{F/F^*}/\partial\delta > 0$ 、 $\partial\kappa_{F/F^*}/\partial\varepsilon < 0$ である。これは、施設規模による汚染の効果 α と δ は、環境汚染を考慮した場合、施設間距離を縮小させる効果を持ち、距離による汚染の効果 β と ε は、施設間距離を拡大させる効果があることを示している。

表2 比較静学2

	s	K_R	q	D	X	K_F	t	θ	γ	α	β	δ	ε
R^*		+	-	-			-			-	+		
F^*			-	-		+		-	+			-	+
p_g^*	+	+	+	?		+	+	+	?	+	+	+	+
κ^*		-		?		+	+	-	+	+	-	-	+
κ_{R/R^*}		+		?			-			+	-		
κ_{F/F^*}				?		+		-				+	-

2.4 中間処理施設の最適な再資源化率

地方政府が最適な再資源化率を決定する状況を検討する。

(1) 環境汚染を考慮しない場合

廃棄物施設の総費用 C は再資源化率 γ の関数として表すことができる。(11)式より、

$$C(\gamma) = C_I + C_F = p_g X D = X \sqrt{qD} \left((m + s\gamma^{z+1}) \sqrt{qD} + \sqrt{tK_R} + \sqrt{(1-\gamma)\theta K_F} \right)$$

地方政府は総費用を最小化する。

$$\frac{\partial C(\gamma)}{\partial \gamma} = (z+1)\gamma^z s \sqrt{qD} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\theta K_F}{(1-\gamma)}} = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial^2 C(\gamma)}{\partial \gamma^2} = (z+1)z\gamma^{z-1} s \sqrt{qD} - \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\theta K_F}{(1-\gamma)^3}} < 0 \quad (14)$$

(13) 式を γ の関数 $f(\gamma)$ として書き換えると次式となる。さらに、(14)式を関数 $g(\gamma) = \partial^2 C(\gamma) / \partial \gamma^2$ として解の性質を調べる。

$$f(\gamma) = \gamma^{2z+1} - \gamma^{2z} + A = 0, \quad A = \frac{\theta K_F}{(2s(z+1))^2 qD} \quad (15)$$

$C(\gamma), f(\gamma), g(\gamma)$ の形状 ($z=1/3, 1/2, 1, 2, 3$ の場合) を図3に示す。

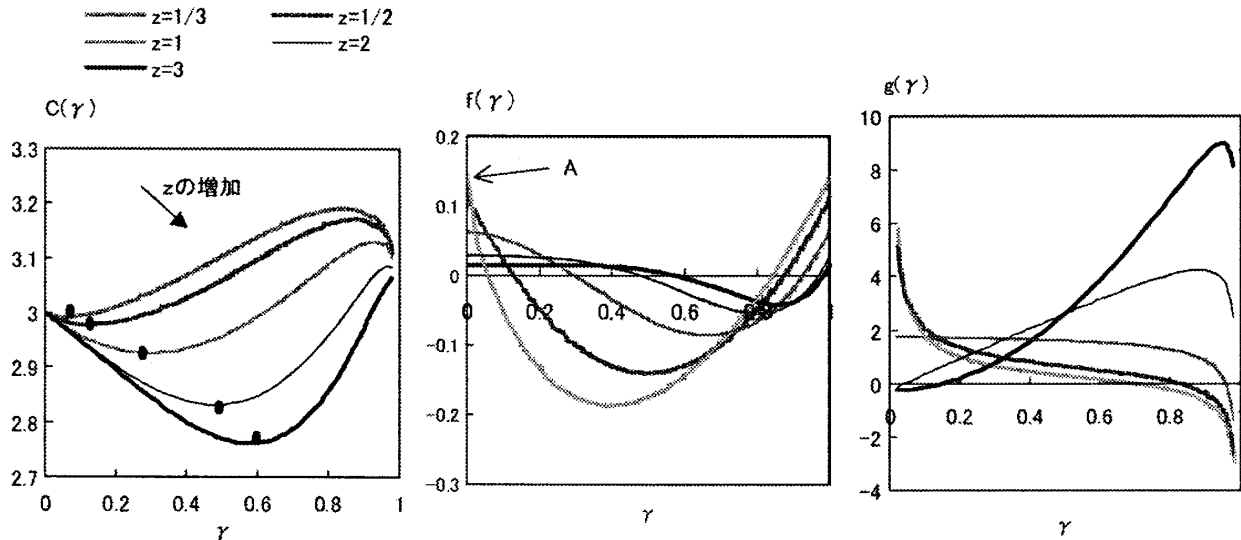


図3 $C(\gamma), f(\gamma), g(\gamma)$

$0 \leq \gamma \leq 1$ の範囲には、総費用 $C(\gamma)$ の最大値と最小値が存在する。 γ が $g(\gamma) > 0$ となる領域で、総費用を最小化する再資源化率 γ^* が決まる。従って、 $f(\gamma) = 0$ となる γ は二つ存在するが、図中の左側の $f(\gamma) = 0$ の点が最小費用を意味する。また、 $f(\gamma)$ の形状は切片 A の値のみに依存することに注意せよ。したがって、最適な再資源化率は切片 A の値により決まる。パラメータ A の値が増加すれば (すなわち、 θK_F の増加または $s^2 qD$ の減少)、切片が上昇するため、最適な再資源化率も上昇する。しかし、 $f(\gamma)$ の形状から A がある閾値を越えると、 $f(\gamma) > 0$ となり、突如内点解から端点解に変化する。 $f(\gamma) > 0$ より $\partial C(\gamma) / \partial \gamma < 0 (0 \leq \gamma \leq 1)$ となるので、最適な再資源化率を示す端点解は $\gamma^* = 1$ となる。したがって、最適な再資源化率には臨界点が存在することになる。この臨界点は、 $f(\gamma^*)$ を γ^* について最小化することから求めることができる。この臨界点を γ_c^* とすると

$$\begin{aligned} \partial f(\gamma^*) / \partial \gamma^* &= (2z+1)\gamma^{*2z} - 2z\gamma^{*2z-1} = 0 \\ \gamma_c^* &= 1 - \frac{1}{2z+1} \end{aligned} \quad (16)$$

パラメータ A の値が増加することにより、最適な再資源化率は γ_c^* まで上昇するが、その後突如として1に変化する。 γ_c^* となるパラメータ A の境界値 A_c は、(16)式を(15)式に代入することにより求まる。

$$A_c = \frac{2z^{2z}}{(2z+1)^{2z+1}}$$

ここで、 A_c は z のみの関数であることに注意せよ。また、 $0 < A \leq A_c$ ならば $\partial\gamma^*/\partial A > 0$ であり、 $\partial A/\partial\theta > 0$ 、 $\partial A/\partial K_F > 0$ 、 $\partial A/\partial s < 0$ 、 $\partial A/\partial q < 0$ 、 $\partial A/\partial D < 0$ 及び $\partial A/\partial z < 0$ である。したがって、以下の特性を得る。

特性1

最適な再資源化率には臨界点が存在し、臨界点を超えると最適な再資源化率は1となる。その臨界点は、再資源化の費用構造に依存する。

$$0 < A \leq \frac{2z^{2z}}{(2z+1)^{2z+1}} \text{ ならば } 0 \leq \gamma^* \leq 1 - \frac{1}{2z+1}$$

$$\partial\gamma^*/\partial\theta > 0, \quad \partial\gamma^*/\partial K_F > 0, \quad \partial\gamma^*/\partial s < 0, \quad \partial\gamma^*/\partial q < 0, \quad \partial\gamma^*/\partial D < 0$$

$$A > \frac{2z^{2z}}{(2z+1)^{2z+1}} \text{ ならば } \gamma^* = 1$$

これは、廃棄物の輸送費用または最終処理施設の固定比 θK_F と再資源化の費用、廃棄物排出量、農家密度 $s^2 qD$ との比率が増加すると、最適な再資源化率は $\gamma^* = \gamma_c^*$ まで上昇するが、 $A = A_c$ を境界に、費用最小化の解として $\gamma^* = 1$ が必要とされることを示している。通常、再資源化率を急激に γ_c^* から1に達成することは困難であることを考えると、再資源化率が γ_c^* を越えるような状況に達した場合、地方政府は非効率な運営を余儀なくされることを示唆する。

(2) 環境汚染を考慮する場合

環境汚染を考慮した場合、(12)式より、総費用は次のように表すことができる。

$$C(\gamma) = C_I + C_F + C_E = p_g^* X D$$

$$= X \sqrt{qD} \left[(m + \gamma^{z+1} s) \sqrt{qD} + \sqrt{(t + 4\alpha D)(K_R + \beta D)} + \sqrt{(1-\gamma)(\theta + 4\delta D)(K_F + \varepsilon D)} \right]$$

地方政府は総費用を最小化する。

$$\frac{\partial C(\gamma)}{\partial \gamma} = (z+1)\gamma^z s \sqrt{qD} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{(\theta + 4\delta D)(K_F + \varepsilon D)}{(1-\gamma)}} = 0 \quad (17)$$

$$\frac{\partial^2 C(\gamma)}{\partial \gamma^2} = (z+1)z\gamma^{z-1} s \sqrt{qD} - \frac{1}{4} \sqrt{\frac{(\theta + 4\delta D)(K_F + \varepsilon D)}{(1-\gamma)^3}} < 0 \quad (18)$$

同様に(17)式を γ の関数として書き換え、(18)式を $g(\gamma)$ とおく。

$$f(\gamma) = \gamma^{2z+1} - \gamma^{2z} + A' = 0, \quad A' = \frac{(\theta + 4\delta D)(K_F + \varepsilon D)}{(2s(z+1))^2 qD}$$

A と A' の式は異なるが、前述と同様な議論ができる。したがって、特性1は以下のように修正され

る。

特性1'

$$0 < A' \leq \frac{2z^{2z}}{(2z+1)^{2z+1}} \text{ ならば } 0 \leq \gamma^{**} \leq 1 - \frac{1}{2z+1}$$

$$\partial \gamma^* / \partial \theta > 0, \quad \partial \gamma^{**} / \partial K_F > 0, \quad \partial \gamma^{**} / \partial \delta > 0, \quad \partial \gamma^{**} / \partial \varepsilon > 0$$

$$\partial \gamma^{**} / \partial s < 0, \quad \partial \gamma^{**} / \partial q < 0$$

$$A' > \frac{2z^{2z}}{(2z+1)^{2z+1}} \text{ ならば } \gamma^{**} = 1$$

また、 $\delta, \varepsilon > 0$ より $A < A'$ となり、 $\gamma^* < \gamma^{**}$ である。(図4, 5)

特性2

環境汚染を考慮した場合、中間処理施設の最適な再資源化率は上昇し、臨界点に到達しやすくなる。

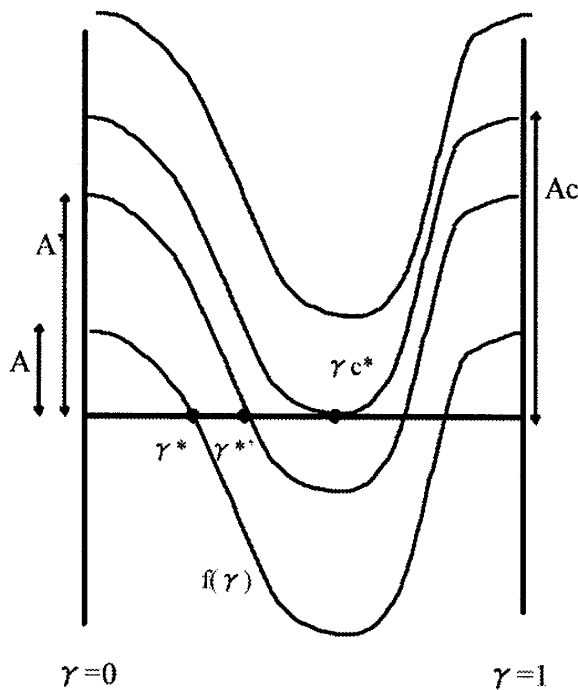


図4 γ^* , γ^{**} , γ_c^*

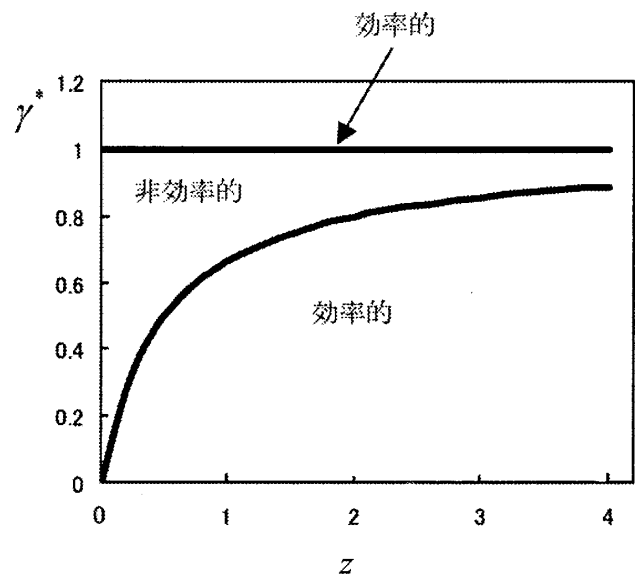


図5 最適再資源化率

3. おわりに

本稿では、酪農産業に焦点をあて、廃棄物処理施設とリサイクル率について、効率的な運営体制について検討した。施設の運営費用、輸送コスト、及び環境の外部費用を考慮して、最適な廃

棄物処理施設立地と最適なりサイクル率について分析を行った。高いリサイクル率と効率的な廃棄物処理は同時には達成可能でない条件を明らかにした。今後の課題としては、酪農廃棄物処理のリスク問題、廃棄物市場の導入及び都市と農村の連携による廃棄物処理などがあげられる。

参考文献

- 吉野敏行 (1996), 「資源循環型社会の経済理論」, 東海大学出版会.
- 小泉明, 萩原清子 (1998), 「都市の廃棄物問題」, 東京都立大学都市研究所.
- 藤岡明房 (1998), “デポジット制度の経済学的検討,” 日本地域学会第35回年次大会論稿集, 103-108.
- Highfill, J. McAsey, M. and Weinstein, R. (1994). “Optimality of Recycling and the Location of A Recycling Center,” *Journal of Regional Science*, 34, 4, 583-597.
- Hoel, M. (1978). “Resource Extraction and Recycling with Environmental Costs,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 5, 220-235.
- Schulze, W.D. (1974). “The Optimal Use of Non-Renewable Resources: The Theory of Extraction,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 1, 53-73.
- Shibusawa, H. (2000), “Optimal Recycling and the Location of Waste Facilities,” *Studies in Regional Science*, 30, 1, 155-165.
- Smith, V.L. (1972), “Dynamics of Waste Accumulation: Disposal versus Recycling,” *Quarterly Journal of Economics*, 86, 600-616.
- Ye, M-H. and Yezer, A, A.J. (1997), “Where Will We Put the Garbage? Economic Efficiency Versus Collective Choice,” *Regional Science and Urban Economics*, 27, 47-66.

注

- 1) 本稿は, Shibusawa (2000) において検討された都市における家計廃棄物施設のモデルが, 農村における酪農廃棄物施設にも適用可能であることを示すものである。