

生物多様性オフセットが都市内土地利用に与える影響に関するモデル分析:アメニティ選好と土地制度に注目して

菊地 秀¹ 福本 潤也²

¹非会員 東北大学大学院博士前期課程 情報科学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3-09)

E-mail: s_kikuchi@civil.tohoku.ac.jp

²正会員 東北大学大学院准教授 情報科学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3-09)

E-mail: fukumoto@plan.civil.tohoku.ac.jp

生物多様性オフセットが有効に機能するかどうかは土地制度の影響を大きく受けると考えられる。本研究では、土地利用規制、オフセット制度、アメニティ選好を導入した都市経済モデルを定式化して分析する。分析結果として、生物多様性オフセット制度の導入と同時に土地利用規制を厳しくしたり開発負担金を課すことで、社会的厚生を高めたり都市規模を小さくすることが可能であることを明らかにする。

Key Words: *strict land use regulation, biodiversity offset, amenity preference, developer contribution*

1.はじめに

開発行為による自然生態系への負の影響を、自然生態系の保全により代償する事を義務づける生物多様性オフセット制度が複数の国に導入されている。現在、日本では環境影響評価法により一定規模以上の公共事業に対して、自然生態系に与える影響を軽減することが求められている。ただし、事業主体の自主的な努力により様々な代償行為が行われているものの、厳格な代償義務は課されていない。生物多様性の保全に関する国際的な議論が盛り上がる中、日本でもオフセット制度の導入を検討する必要があると考えられる。代償行為を行う場合、自然生態系を保全するための土地の確保が必要になる。土地制度によって、土地の確保の容易さは異なる。オフセット制度の運用コストや導入可能性は、土地制度のあり方に大きく左右されると考えられる。

ドイツはオフセット制度を古くから導入している国の1つである。ドイツのオフセット制度は1976年に連邦自然保護法で侵害規制が示されたことを契機としている。その後、都市計画を規定する建設法典に受容され、現在は建設法典が都市境界の開発行為に対して代償義務を定めている。ドイツでは土地利用規制が厳格であり、代償に必要な用地の確保が比較的容易であると考えられる¹⁾。一方、日本では都市計画法によって土地利用規制が定められているものの、土地利用規制は緩いことは周知の通りである。現在の土地利用規制制度を変えずに、オフセット制度が導入される場合、代償に必要な用地の確保が困難なため、開発行為が過度に抑制されるなど様々な弊害を招く危険性がある。

本研究の目的は、オフセット制度の導入可能性が土地制度のあり方によって大きく左右されることや、オフセット制度の導入が土地利用や都市規模に与える影響を明らかにすることである。土地利用規制・オフセット制度・アメニティ選好を取り入れた動的な都市経済モデルを定式化して分析を行う。

2.ドイツと日本の土地利用規制

ドイツの建設法典は自然環境の保護を目的の1つとしており、土地利用規制を厳格に定めている¹⁾。また、開発利益による土地の増価を開発負担金により公共還元する仕組みもある。厳格な土地利用規制や開発負担金により、低い地価が形成されており、代償用地も取得しやすい。さらに、開発行為に先立って用地取得と自然生態系の保全を行い、その後の開発行為に対して課される代償義務を代替させるエコ・コントと呼ばれる仕組みも導入されている。厳格な土地利用規制と様々な制度面の工夫がオフセット制度の運用を容易にしていると考えられる。

日本の都市計画法では自然環境の保護が重要視されておらず、土地利用規制は非常に緩い¹⁾。また、開発利益による土地の増価は個人に帰属する。緩い土地利用規制や開発負担金の欠如により、高い地価が形成されている。オフセット制度の導入時に、緩い土地利用規制が土地の確保の困難や開発行為の遅延等を引き起こす可能性がある。

3.モデル

(1) モデル化の方針

本研究では Capozza and Helsley ²⁾が提案した不在地主が完全予見で資本が可塑的な線形都市モデルに、土地利用規制・生物多様性オフセット・アメニティ効用の3つの要素を導入したモデルを定式化する。制度の違いが土地利用棟に与える影響を分析するため、ドイツと日本の制度の特徴を反映した4種類のモデル(ドイツ型モデル、日本型モデル、日本型オフセットモデル、日本型土地利用規制モデル)を構築する。ドイツ型モデルは、厳格な土地利用規制とオフセット制度を導入している現在のドイツの制度を念頭に置いたモデルである。日本型モデルは土地利用規制が課せられておらず、オフセット制度を導入していないモデルである。現在の日本の制度を念頭に置いたモデルである。日本型オフセットモデルは土地利用規制が課せられずにオフセット制度が導入された場合のモデルである。日本型土地利用規制モデルは、オフセット制度は導入されずに厳格な土地利用規制のみが導入される場合のモデルである。

(2) ドイツ型モデル

開放型の単一中心線形都市を想定する。図1のように開発により幅1の線形都市の境界が両側に広がる動的な状況を想定する。経済主体として家計・不在地主・デベロッパーを想定する。不在地主が都市内の全ての土地を所有しているものとする。

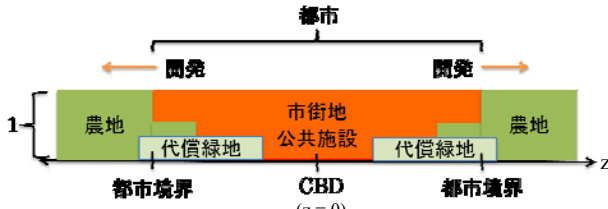


図1 都市内の様子

a) 土地利用

都市内の土地利用には、市街地・公共施設・農地・代償緑地の4種類がある。都市境界の外側は基本的に全て農地である(一部は代償緑地である)。開発規制がかけており、不在地主は自由に開発できない。市街地面積は政府の土地利用規制により上限が定められている。市街地面積の上限はCBDからの任意の距離 z によって変化する。ただし、時間によらず一定である。CBDからの任意の距離 z の地点において市街地面積1に対して面積 ε の土地を公共施設に充てる必要がある。農地を開発して市街地や公共施設にする場合、農地がもたらすアメニティと等価なアメニティを持つ代償緑地を整備する必要がある。 t 時点におけるCBDからの距離 z の市街地面

積を $d(t, z)$ 、農地面積を $f(t, z)$ 、代償緑地面積を $g(t, z)$ で表す。任意の t と z について次式が成り立つ。

$$(1+\varepsilon)d(t, z)+f(t, z)+g(t, z)=1 \quad (1)$$

市街地面積に関する土地利用規制は次式で表される。

$$d(t, z) \leq \bar{d}(z) \quad (2)$$

b) 都市内の家計の行動

都市内の家計は t 時点に収入 $y(t)$ を得る。全ての家計はCBDに通勤し単位距離あたり T の通勤費用がかかるとする。家計は消費財 $X(t, z)$ 、住宅面積 $L(t, z)$ 、近隣の自然アメニティ $A(t, z)$ から効用 U を得る。

$$U(t, z)=u(X, L, A) \quad (3)$$

家計は他地域と自由に立地の変更をできる。都市に立地する家計の効用水準は他地域の効用水準 \bar{v} と常に等しい。家計の効用関数を準線形効用関数で表す。ただし、 α と β はパラメータである。

$$U(t, z)=u(X, L, A)=X+\alpha L^\beta+A \quad (4)$$

時点 t 、地点 z の住宅地代を $R^H(t, z)$ で表す。家計の予算制約式は次式で表わせる。

$$y(t)=X(t, z)+R^H(t, z)L(t, z)+Tz \quad (5)$$

c) アメニティ効用

家計は都市内の農地と代償緑地からアメニティ効用を得る。アメニティ効用は式(6)で与えられる。ただし、 $M \geq 1$ は農地と代償緑地のアメニティ価値の違いを表すパラメータである。また $\bar{z}(t)$ は都市境界の位置を表わす。

$$A(t, z)=\gamma \int_{-\bar{z}(t)}^{\bar{z}(t)} \{f(t, \zeta)+Mg(t, \zeta)\} e^{-\eta(z-\zeta)} d\zeta \quad (6)$$

式(6)の定式化では分析を簡単にするため、家計は都市の外側の農地や代償緑地からアメニティ効用を得ないと想定している。

d) デベロッパーの行動

デベロッパーは不在地主に每期、土地地代 $R^D(t, z)$ を支払い土地を借りる。デベロッパーは住宅資本を投入して、住宅を形成する。住宅資本の投入量を S とすると1単位当たりの土地に対する床面積を θS^δ が得られるとする。ただし、 $0 < \delta < 1$ である。デベロッパーの利潤最大化行動は次式で表される。

$$\max_S R^H(t, z) \cdot \theta S^\delta - S(t, z) - R^D(t, z) \quad (7)$$

1階条件と利潤ゼロ条件より土地地代は次式で表される。

$$R^D(t, z) = (1-\delta) \delta^{1-\delta} \left(\frac{1}{\theta R^H(t, z)} \right)^{\frac{1}{\delta-1}} \quad (8)$$

人口密度 $\mu(t, z)$ は1単位当たりの床面積を住宅面積で割ることで得られる。

$$\mu(t, z) = \frac{\theta S(t, z)^\delta}{L(t, z)} \quad (9)$$

都市内の人口 $N(t)$ は次式で表される。

$$N(t) = \int_{-\bar{z}(t)}^{+\bar{z}(t)} \mu(t, \zeta) d\zeta \quad (10)$$

e) 土地市場の地価の決定

不在地主は完全予見であるとする。地点 z の農地が時点 s に開発されると、その後は地点 z の土地利用の形態を変えられない不可逆的な状況を想定する。時点 s の土地利用の形態には、市街地・公共施設・農地・代償緑地の4種類がある。市街地に開発できるのは土地利用を規制している政府によって認められた場合のみである。時点 s の開発費用の現在割引価値を $C(s, z)e^{-r(s-t)}$ で表すと、地価 $p^U(t, s, z)$ は次式で表される。ただし、 R^A は農業地代である。

$$\begin{aligned}
 p^U(t, s, z) &= \int_t^s R^A e^{-r(\tau-t)} d\tau + d(z) \left[\int_s^\infty R^D(\tau, z) e^{-r(\tau-t)} d\tau - C(s, z) e^{-r(s-t)} \right] \\
 &+ \varepsilon d(z) \left[\int_s^\infty R^D(\tau, z) e^{-r(\tau-t)} d\tau - C(s, z) e^{-r(s-t)} \right] \\
 &+ f(z) \int_s^\infty R^A e^{-r(\tau-t)} d\tau \\
 &+ g(z) \left\{ \begin{aligned} &\frac{(1+\varepsilon)d(z)}{1-g(z)} \left[\int_s^\infty R^D(\tau, z) e^{-r(\tau-t)} d\tau - C(s, z) e^{-r(s-t)} \right] \\ &+ \frac{f(z)}{1-g(z)} \int_s^\infty R^A e^{-r(\tau-t)} d\tau \end{aligned} \right\} \quad (11)
 \end{aligned}$$

第一項は開発される前の農業収益を表す。第二項は市街地に開発される場合の収益を表す。第三項は公共施設に開発される場合の収益を表す。市街地への開発と無差別にするため、市街地と公共施設の収益は等しい。第四項は開発が認められず農地として用いられた場合の収益を表す。第五項は市街地開発によるアメニティへの悪影響を代償するための代償緑地に転用される場合の収益を表す。代償緑地に転用される場合、開発が認められて市街地になる場合の収益や、開発が認められずに農地として利用される場合の収益を得る機会を失う。そのため、機会費用と等しい金額が不在地主に支払われる。最適な開発時期を選択する場合の地価 P^U を次式で定義する。

$$P^U(t, z) = \max_{s \geq t} p^U(t, s, z) \quad (12)$$

f) 開発負担金と開発費用

不在地主はアメニティ価値を持つ農地を市街地に開発する場合、開発負担金（公共施設の整備費用）と代償費用（等価なアメニティ価値を持つ代償緑地の整備費用）を負担する。1単位の土地を市街化する場合の開発負担金と代償費用の合計は式(13)で表される。ただし、 $P^U(s, z+dz)$ は s 期の地点 $d+dz$ の地価である。本研究では開発地点から距離 dz 以内の土地での代償が認められるオフサイトのオフセット制度を想定する（この時、地価が最も低い $z+dz$ の地点で代償が行われる）。

$$\begin{aligned}
 C(s, z) &= \varepsilon \left[\int_s^\infty R^D(\tau, z) e^{-r(\tau-t)} d\tau - C(s, z) e^{-r(s-t)} \right] \\
 &+ \frac{1+\varepsilon}{M-1} P^U(s, z+dz) + FC \quad (13)
 \end{aligned}$$

第一項は公共施設用地の取得費用である。第二項は地点

z で失われた農地アメニティを地点 $z+dz$ の代償緑地用地の取得費用である。第三項は固定費用である。

g) 都市内の土地利用

市街地面積の上限 $\bar{d}(t, z)$ は政府によって規制される。代償緑地は地点 z の開発で失われたアメニティを地点 $z+dz$ で等価なアメニティを再生するために整備される。代償緑地面積 $g(t, z)$ は次式で表される。

$$g(t, z) = \begin{cases} \frac{1+\varepsilon}{M-1} d(t, z-dz) & \text{if } dz \leq z \\ 0 & \text{if } z < dz \end{cases} \quad (14)$$

農地面積 $f(t, z)$ は次式で表される。

$$f(t, z) = 1 - (1+\varepsilon)d(t, z) - g(t, z) \quad (15)$$

以上より式(6)のアメニティ効用は次のように表す事ができる。

$$\begin{aligned}
 A(t, z) &= \gamma \int_{-\bar{z}(t)}^{-dz} \left[\{1 - (1+\varepsilon)d(\zeta)\} + (1+\varepsilon)d(\zeta+dz) \right] \cdot e^{-\eta z - \zeta} d\zeta \\
 &+ \gamma \int_{-dz}^{dz} \{1 - (1+\varepsilon)d(\zeta)\} \cdot e^{-\eta z - \zeta} d\zeta \\
 &+ \gamma \int_{dz}^{\bar{z}(t)} \left[\{1 - (1+\varepsilon)d(\zeta)\} + (1+\varepsilon)d(\zeta-dz) \right] \cdot e^{-\eta z - \zeta} d\zeta \quad (16)
 \end{aligned}$$

h) 社会的厚生

開発負担金や代償費用のうち土地の取得に関わる費用は、不在地主間の所得移転と見なす事ができる。そのため社会的厚生には影響しない。家計の効用は外生的に与えられるため無視できる。これより社会的厚生と関係するのは不在地主の地代収入の変化と開発負担金・代償費用に占める固定費用である。 t 期の社会的厚生は次式で与えられる。

$$W^S(t) = \int_{-\bar{z}(t)}^{+\bar{z}(t)} \{R^D(t, \zeta) - (1+\varepsilon) \frac{M}{M-1} R^A - rFC\} d(\zeta) d\zeta \quad (17)$$

(3) 日本型モデル

日本型モデルでもドイツ型モデルと同様の都市を想定する。ドイツ型モデルと異なるのは以下の点である。第1に、日本型モデルでは土地利用規制としての市街地上限規制が課されない。都市内の全ての農地は市街地か公共施設として開発される。

$$d(t, z) = \begin{cases} \frac{1}{1+\varepsilon} & \text{if } z \leq \bar{z}(t) \\ 0 & \text{if } \bar{z}(t) < z \end{cases} \quad (18)$$

第2に不在地主は開発時に固定費用のみ負担する。市街化に伴う公共施設整備の費用は政府が負担する。不在地主が負担する費用は次式で表される。

$$C(s, z) = FC \quad (19)$$

一方、政府が負担する公共施設の整備費用 $B(t, z)$ は次式で表される。

$$B(s, z) = \varepsilon \left[\int_s^\infty R^D(\tau, z) e^{-r(\tau-s)} d\tau - FC \right] \quad (20)$$

オフセット制度が導入されていないため、不在地主は開

発によるアメニティの喪失を代償緑地の整備で代償する必要はない。

日本型モデルの社会的厚生は次式で表される。

$$W(t) = \int_{-\bar{z}(t)}^{+\bar{z}(t)} \{R^D(t, \zeta) - (1 + \varepsilon)R^A - r \cdot FC\} \frac{1}{1 + \varepsilon} d\zeta \quad (21)$$

(4) 日本型オフセットモデル

日本型オフセットモデルドイツでも型モデルと同様の都市を想定する。ドイツ型モデルと異なるのは以下の2点である。第1に土地利用規制としての市街地の上限規制が課せられず、都市内の全ての農地は市街地・公共施設・代償緑地のいずれかに開発される。

$$d(t, z) = \begin{cases} 1 & \text{if } 0 \leq z \leq dz \\ 1 - g(t, z) & \text{if } dz < z \leq \bar{z}(t) \\ 0 & \text{if } z > \bar{z}(t) \end{cases} \quad (22)$$

第2に、オフセット制度が導入されているため不在地主は市街地開発の固定費用に加えて、代償緑地の取得費用も負担する。

$$C(s, z) = \frac{1}{M-1} P^U(s, z + dz) + FC \quad (23)$$

一方、政府は公共施設の整備費用 $B(s, z)$ を負担する。日本型オフセットモデルの社会的厚生は次の通りに表せる。

$$W(t) = \int_{-\bar{z}(t)}^{+\bar{z}(t)} \left\{ R^D(t, \zeta) - (1 + \varepsilon) \frac{M}{M-1} R^A - r \cdot FC \right\} d(\zeta) d\zeta \quad (24)$$

(5) 日本型土地利用規制モデル

日本型土地利用規制モデルでもドイツ型モデルと同様の都市を想定する。ドイツ型モデルと異なるのは以下の二点である。第一にオフセット制度が導入されていないため、開発によるアメニティの喪失を代償しなくてもよい。開発の際に公共施設の整備費用となる開発負担金がない。開発にかかる費用は開発の固定費用のみとなる。

$$C(s, z) = FC \quad (25)$$

公共施設の整備費用は政府が負担する。

ドイツ型モデルと同じく土地利用規制が存在するため、市街地面積は次の通り規制される。

$$d(t, z) \leq \bar{d}(z) \quad (26)$$

日本型土地利用規制モデルの社会的厚生は次式で表される。

$$W(t) = \int_{-\bar{z}(t)}^{+\bar{z}(t)} \{R^D(t, \zeta) - (1 + \varepsilon)R^A - r \cdot FC\} \frac{1}{1 + \varepsilon} d\zeta \quad (27)$$

4. 分析結果と考察

各モデルの開発負担金、オフセット制度、土地利用規制の有無を表1に纏める。以下では4種類のモデルの特性を解析的、数値的に比較する。

表1 モデルの設定

	開発負担金	オフセット制度	土地利用規制
ドイツ型	あり	あり	あり
日本型	なし	なし	なし
日本型 オフセット	なし	あり	なし
日本型 土地利用規制	なし	なし	あり

(1) 開発時期

不在地主は地価が最大になる地点で開発する。不在地主による土地の開発時点の最適決定問題の一階条件は以下の通りである

ドイツ型モデル

$$\frac{1}{1 + \varepsilon} R^D(s, z) = R^A + rFC + \frac{1}{M-1} R^A \quad (28)$$

日本型モデル

$$R^D(s, z) = R^A + rFC \quad (29)$$

日本型オフセットモデル

$$R^D(s, z) = R^A + rFC + \frac{1}{M-1} R^A \quad (30)$$

日本型土地利用規制モデル

$$R^D(s, z) = R^A + rFC \quad (31)$$

オフセット制度を導入しているドイツ型モデル・日本型オフセットモデルを同制度を導入していない日本型モデル・日本型土地利用規制モデルと比較すると、右辺に代償緑地の取得費用が加わっていることが分かる。また、ドイツ型モデルの一階条件では左辺が公共施設用地の取得費用の分だけ割引されていることが分かる。両方とも都市境界の地代を高くするため、開発時期を遅らせる効果を持つ。

日本型モデルと日本型土地利用規制モデルの一階条件は同じである。ただし、日本型土地利用規制モデルでは土地利用規制により農地が都市内に残る分だけアメニティ選好により各地点の地代や地価が高くなる。その結果、日本型土地利用規制モデルの方が開発時期が早まり、都市境界がより外側に広がることが分かる。

(2) 土地利用パターン

各モデルにおける都市内の土地利用パターンを図6と図7に示す。図6と図7はアメニティ効用係数 γ の値のみ異なる。図6は $\gamma=20$ 、図7は $\gamma=40$ の場合の土地利用パターンである。両方とも $dz=10$ としている。日本型モデルを除く3つのモデルではアメニティ効用係数が大きい場合の方が都市境界が大きい。

(3) 社会的厚生

4つのモデル間で社会的厚生を比較する。ドイツ型モデルと日本型土地利用規制モデルの土地利用規制の $\bar{d}(z)$ は定常状態の社会的厚生を最大化するように決定

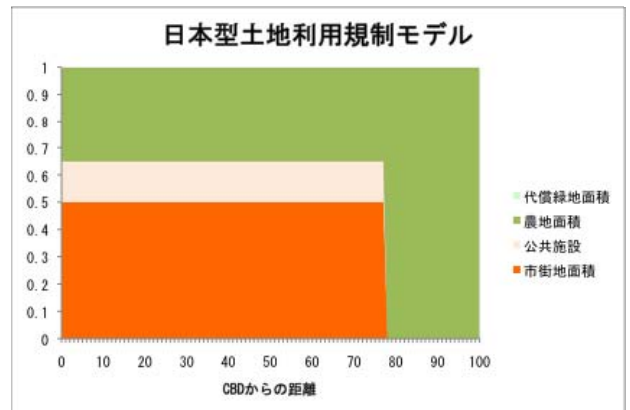
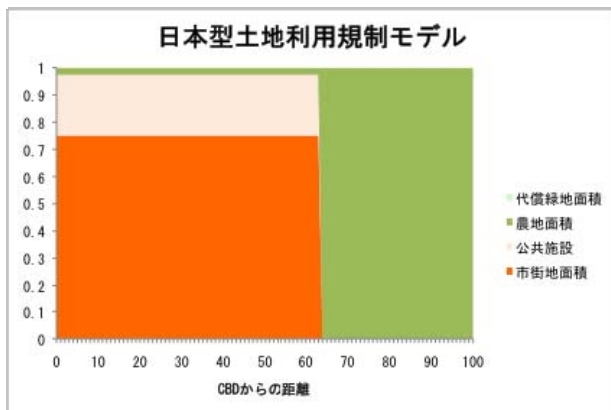
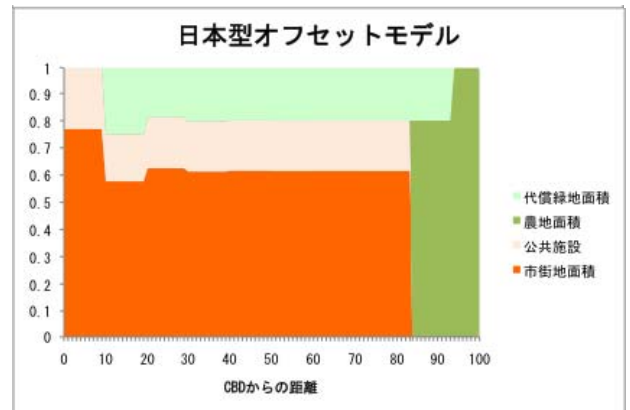
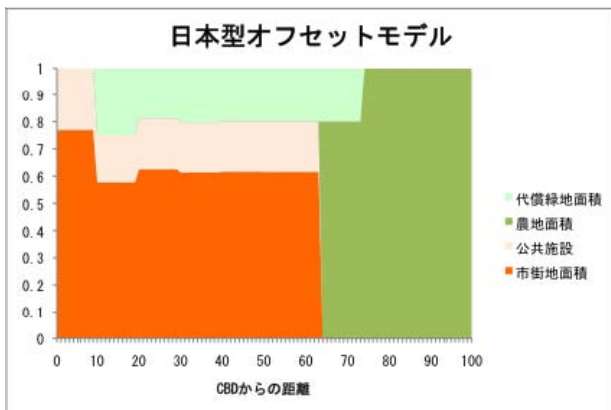
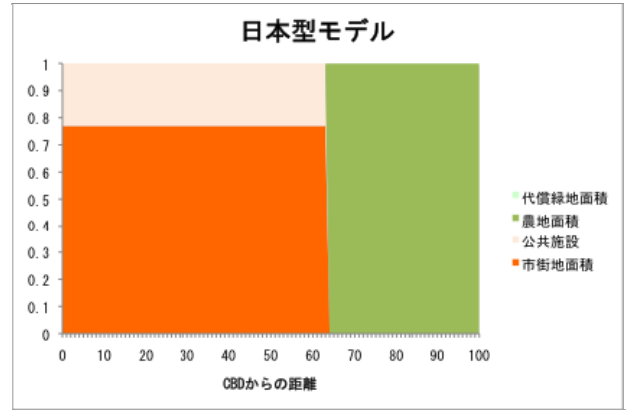
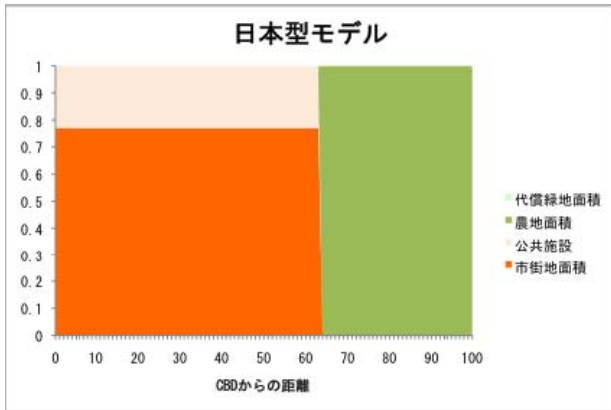
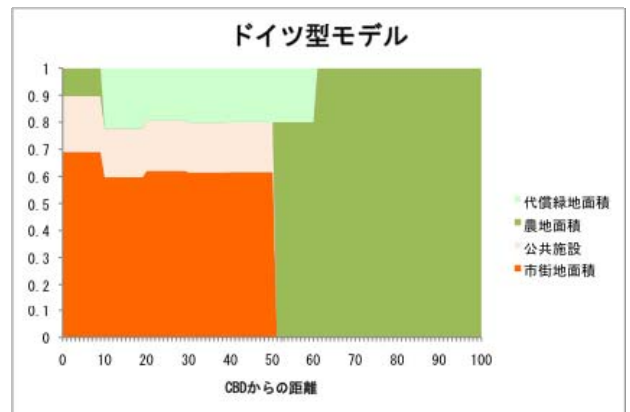
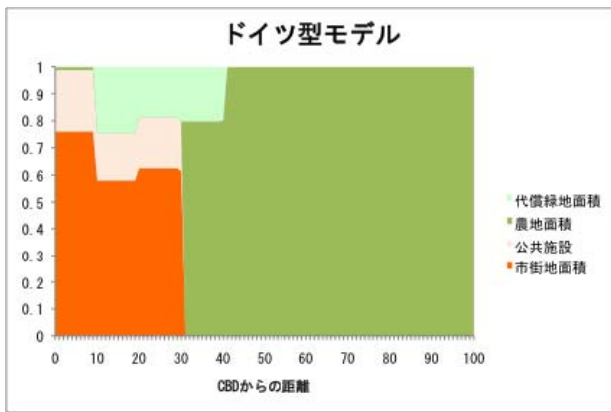


図6 都市内土地利用 ($\gamma=20$)

図7 都市内土地利用 ($\gamma=40$)

する。アメニティ効用の大きさと代償距離を変化させて、土地利用規制、開発負担金、オフセット制度が都市規模と社会的厚生に与える影響について分析する。

図2より日本型モデルの都市境界は変化しない。都市内の家計はアメニティが全く供給されずアメニティ効用を得ないためである。土地利用規制によって都市内の家計にもアメニティが供給される日本型土地利用規制モデルでは、 γ が大きくなると都市境界が大きくなる。日本型オフセットモデルでもオフセット制度の導入により都市内の家計にアメニティが供給されるため、 γ が大きくなると都市境界が広がる。ただし、代償緑地の取得費用がコストとして加わるため、日本型モデルの都市境界よりも常に大きくなる訳ではない。 γ が小さい場合には、日本型モデルよりも都市境界は小さくなる。ドイツ型モデルの都市境界は、土地利用規制や開発負担金により、日本型オフセットモデルで生じる過剰な開発が抑制される。その結果、日本型オフセットモデルよりも都市境界が必ず小さくなる。

図3は γ による社会的厚生の変化をモデル間で比較した結果である。日本型土地利用規制モデルでは社会的厚生を最大化するように土地利用規制を課しているため、 γ の値によらず日本型モデルよりも常に社会的厚生が大きくなる。日本型オフセットモデルでは、オフセット制度の導入により代償緑地の整備が必要になるため、 γ が小さい場合には不在地主の負担が増大して開発が過度に抑制される結果、日本型モデルの社会的厚生よりも小さくなる。一方、ドイツ型モデルでは、土地利用規制と開発負担金により不要な開発が抑えられる。その結果、日本型オフセットモデルよりも社会的厚生が必ず大きくなる。

図4はオフセットを行う代償距離に応じた社会的厚生の変化を示している。オフセット制度を導入しているドイツ型モデルと日本型モデルではオンサイト（代償距離が小さい）の代償により都市内の多くの家計にアメニティが供給される結果、 dz が小さいほど社会的厚生が大きくなる。ドイツ型モデルと日本型オフセットモデルの社会的厚生を比較すると、前者が後者を常に上回る。その理由は、オフセット制度だけ導入された日本型オフセットモデルでは生じる過剰な都市開発が土地利用規制や開発負担金を通じて抑制されるからである。

5. まとめ

本研究では、土地利用規制・生物多様性オフセット・アメニティ効用・開発負担金を導入した4種類の都市経済モデルを構築して、モデル分析を行った。オフセット制度と同時に土地利用規制を厳しくしたり、開発負担金を課すことで、不要な都市開発が抑制され、社会的厚生がより高まることを示した。また、オフセット制度のみ

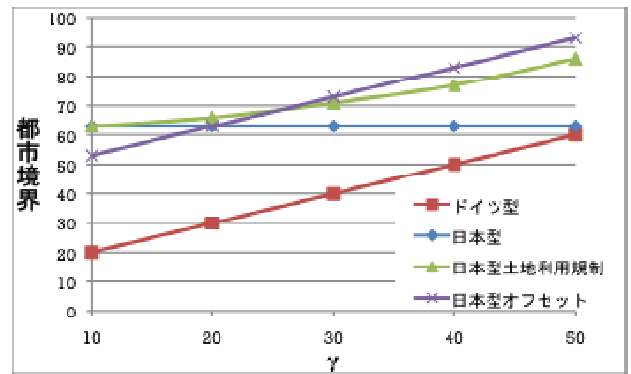


図2 アメニティ効用係数 γ による都市境界の変化

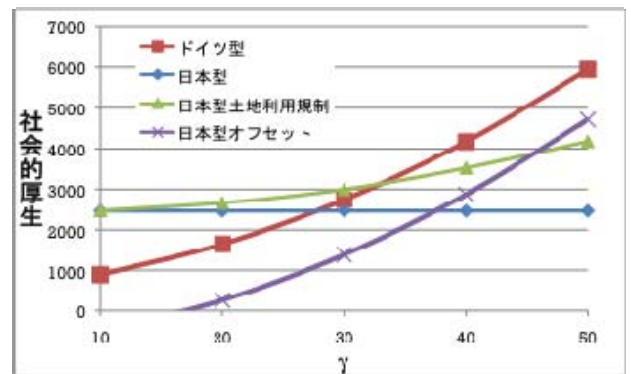


図3 アメニティ効用係数 γ による社会的厚生の変化

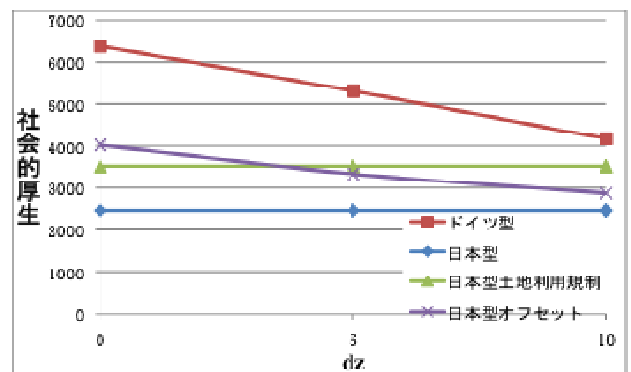


図4 代償距離による社会的厚生の変化

を導入する場合には、都市内でアメニティが供給されることで都市境界が拡大することを示した。

参考文献

- 1) 高橋寿一：地域資源の管理と都市法制-ドイツ建設法典における農地・環境と市民団体，日本評論社，2010.
- 2) Capozza D.R. and Helsley, R.W. : The fundamentals of land prices and urban growth, *Journal of Urban Economics*, Vol.26, pp.295-306, 1989.