

生物多様性オフセットの制度設計に向けての一考察*

A Note on the Design of Biodiversity Offset Program*

大石史哉**・福本潤也***

By Fumiya OISHI**・Junya FUKUMOTO***

1. はじめに

生物多様性の喪失と生態系サービスの劣化について、国際的な議論が進展している。国連の主導により2001年から2005年に実施された国連ミレニアム生態系アセスメントでは、世界の生態系が20世紀後半に人類史上かつてない速さで変化していると警告がなされている。2008年にドイツのボンで開催された生物多様性条約第9回締約会議(COP9)で公表されたThe Economics of Ecosystem & Biodiversity (TEEB) 中間報告では、生物多様性の喪失が与える経済損失は今後50年間何も対策を行わない場合には、少なく見積もっても世界のGDPの7%に及ぶ損失が生じるとの試算が示された。

このような動きを受け、現在、世界各国において生物多様性や生態系サービスの保全を促進するための有効なツールの一つとして、生物多様性マーケットの設立、すなわち、経済インセンティブを活用した生物多様性の保全の取り組みが実施もしくは検討されている。ここで、生物多様性マーケットとは、保全活動やその管理に対するあらゆる支払い行為の総称である。環境税や生態系サービス直接支払い、キャップ&トレード、オフセットなど、保全に関する様々な政策や取り組みが生物多様性マーケットの中に位置付けられる。

生物多様性オフセットは、開発行為と生物多様性の保全を両立する実効的な仕組みとして注目を集めている。既に米国やドイツ、オーストラリアでは制度化がなされている。また、様々なステークホルダーの参加の下で運用されているBBOP (Business and Biodiversity Offset Programs) でもオフセットの基準作りに向けた動きが進みつつある。生物多様性をめぐる国際的な議論の速度を踏まえると、今後、日本でもオフセットの導入に向けた何らかの対応を迫ら

れる必要が生じる可能性がある。そうした可能性を念頭に、1) 現行の土地利用制度や開発事業制度の見直しの可能性や、2) 現行の土地利用・開発事業制度に適したオフセット制度の設計可能性について議論しておくことは有益であると考えられる。本稿では生物多様性オフセット制度を設計する場合の論点をいくつか紹介し、そうした論点について経済学的に議論していくための簡単なモデルの定式化を試みる。

2. 生物多様性オフセット

生物多様性オフセットは「開発事業において、生物多様性への影響の回避・軽減(最小化)の対策を行った後でも、なお残る著しい負の影響に対して、その効果を測定可能な手法によって代償(オフセット)する」というミティゲーション・ヒエラルキーの原則に従って行われる生物多様性の代償行為である(図-1)。この原則では、保全活動の検討順位を示すとともに、ノーネットロス(もしくはネットゲイン)の達成が目標として掲げられる。

図-1 ミティゲーションヒエラルキー

生物多様性オフセットの実施方法には、大きく分けて、3つのオプションが存在する(表-1)。

第一のオプションは、One-off オフセット (Do it yourself) である。この方法は、生物多様性に負のインパクトを与える開発事業者が自らオフセットを行う仕組みである。このオプションについては、次のような問題が指摘されている: 1) 生物多様性の保全に時間がかかるため、開発行為と保全のタイミング

*キーワード: 公共事業評価法, 環境計画, 地球環境問題

** 学生員, 学士(工学), 東北大学大学院情報科学研究科
(〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06,
e-mail: oishi@plan.civil.tohoku.ac.jp)

*** 正会員, 博士(工学), 東北大学大学院情報科学研究科

表-1 3つのオプションの特徴

	One-off オフセット	In-Lieu Fee	バンキング
実施背景	コンプライアンス／自発的	コンプライアンス	コンプライアンス
政策(例)	環境アセス法に基づくオフセット	中国：森林再生ファンド ブラジル：産業影響代償ファンド	米国：ミティゲーションバンク 豪州：Bushbroker
実施複雑性	中程度	低い	高い
市場インフラの水準	中程度	低い	高い
大規模・戦略的な保全	少ない	プログラムデザインに依存	多い
オフセット供給者	開発事業者	政府	第三者 政府 開発事業者
透明性	低い	中程度	高い

の大きなずれが生じるという時系列的な問題、2) 開発事業者は保全活動の専門家ではないため、オフセットが失敗しやすいという専門性の問題、3) オフセットが事業者個別で実施されるため、保全サイトと開発サイトがモザイク状に分布して連続性を確保できないというモザイク化の問題。

第二のオプションは、In-lieu Fee という政府への支払いによる仕組みである。開発事業者は政府が設立したファンドに金銭的な支払いをすることで代償義務を移転する。政府はファンドに支払われた金銭をもとに生物多様性の保全活動を行う。この手法では、政府が集約的かつ戦略的に保全活動を行うことができる。そのため、保護サイトの連続性を保つことができる。また、重要地を優先的に保全することもできる。他方、支払額の設定に関する明確な手法が確立していないなど透明性の問題を孕んでいる。

第三のオプションは、バンキングの手法を用いたオフセットである(図-2)。生物多様性バンキングは“第三者による保全”を活用する仕組みである。この仕組みでは、まず、第三者であるバンカー(土地保有者)が政府等の規制当局と保全契約を結び、生態系が事前に保全される。次に、その保全活動に

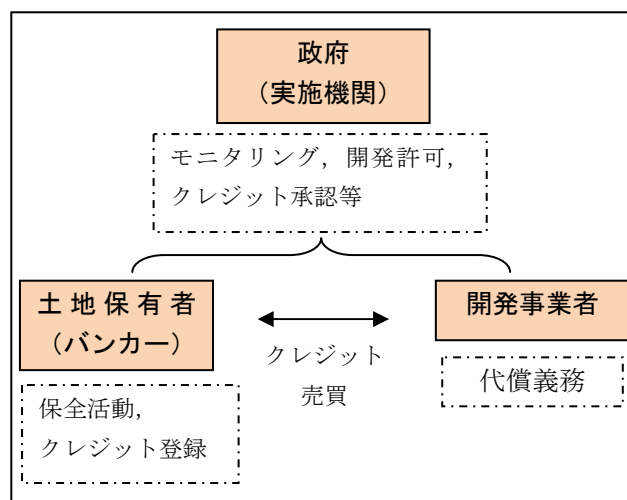


図-2 バンキング制度の概略図

表-2 米国と豪州のバンキング制度

	米国	豪州 (ビクトリア)
名称	ミティゲーションバンク	BushBroker
目的	湿地・河川の保全 (ノーネットロス)	自然植生の質、または、量の増加 (ネットゲイン)
クレジット	湿地保全クレジット	自然植生クレジット
評価方法	州ごと様々	Habitat hectares
実施機関	陸軍工兵隊	州政府
特徴	陸軍工兵隊のオークション方式によるクレジットの買い取り・転売	・BushBrokerによる取引の仲介 ・クレジットの登録

よって増強・復元・保全された生態系が、規制当局によって定量的に評価され、クレジットという取引単位に換算される。開発事業者はバンカーからクレジットを購入することで代償義務をバンカーに移転することができる。クレジットの取引後、バンカーには生態系の長期的な維持管理の義務が課せられる(バンカーは土地を国に譲渡することで、管理責任を移転することも可能である)。現在、米国と豪州で運営されている米国と豪州のバンクの特徴を表-2に示しておく。

バンキング制度は、先に挙げた複数の問題を解決するポテンシャルを持つ。本稿では、以下、バンキング制度を活用したオフセットに着目して議論を進めていく。

3. 制度設計の論点

オフセット・バンキング制度の設計における論点として、ここでは3つの視点を取り上げる。

(1) イン・カインドとアウト・カインド

イン・カインドは「開発事業により、インパクトを受ける種と同種の生態系をオフセットすること」と定義される。一方、アウト・カインドは「開発事業により、インパクトを受ける種とは、別の生態系をオフセットすること」と定義される。

海外におけるオフセット制度では、そのほとんどがイン・カインドのオフセットを推奨している。その理由は、特定の種ばかりが保全されて相対的に多様性が失われてしまうことを防ぐためであると考えられる。しかし、イン・カインドの代償しか認めない場合には、開発事業で喪失する生態系と保全事業で回復する生態系のマッチングが有効に機能しない可能性があり、その場合には開発事業の費用が高くなり、事業の実施が不必要に阻害されてしまう危険性がある。

一方、アウト・カインドのオフセットを認めると、クレジットの需要が各市場に配分され、潜在的なクレジット供給者（保全事業者）の市場参加のインセンティブが向上する。その結果、より保全活動が活発化して、クレジット価格が下がり、適正な水準の開発事業が行われる可能性がある。しかし、市場価格が下がることによって、クレジット供給者の期待ゲインが低下し、結果、市場への参入の妨げとなる可能性も考えられる。すなわち、クレジット供給者の市場参入のインセンティブはトレードオフの関係にある。

(2) オン・サイトとオフ・サイト

イン／アウト・カインドと同様、オフセット制度における重要なファクターとして、オン・サイトとオフ・サイトがある。オン・サイトとは、「開発事業によりインパクトを受ける生態系がある地域と同じ地域でオフセットをすること」と定義される。一方、オフ・サイトとは、「開発事業によりインパクトを受ける生態系がある地域と同じ地域でオフセットをすること」と定義される。

海外におけるオフセット制度では、そのほとんどがオン・サイトのオフセットを推奨している。その理由は、オン・サイトを義務付けることによって、ローカルなスケールでオフセットを完結させることが可能だからである。しかし、アウト・サイトの議

論と同様、適切な水準の開発事業が行われなくなる危険性がある。

一方、オフ・サイトのオフセットを認めることによる利点や欠点は、アウト・カインドと同様の議論ができる。つまり、クレジット供給者の市場参入のインセンティブにトレードオフが発生する。

(3) ダブル・ディッピング

ダブル・ディッピングとは、バンキング制度において「1単位の土地である特定の生態系の保全活動を行い、それに付随した成果から他のクレジットを得ること」と定義される。

現在の多くのバンキング制度では、ダブル・ディッピングは認められていない。その理由は、1つの生態系の保全活動に対して、重複してクレジットが作成されているため、2つめ以降のクレジットの販売では代償義務を果たしたことになるからである。

一方、ダブル・ディッピングを認めることの利点も考えることができる。ダブル・ディッピングが認められることにより、1単位の土地で複数のクレジットが作成できるため、クレジット供給者の保全活動をするインセンティブが増し、市場参入のインセンティブは上昇する。しかし、クレジット市場が供給過多となり、クレジット価格が低下し、開発事業が適正な水準より多くなる危険性もある。

4. 基本モデル

オフセット制度とバンキング制度の導入にあたり、制度設計上のいかなるオプションを採用するかで、開発事業のコスト、保全される生物多様性、実現する社会的厚生等が異なってくる。以下、制度設計のオプションを評価するための数学的なモデルを定式化する。

ここでは、1) オン・サイトの代償、2) イン・カインドの代償、3) ダブル・ディッピングなし、という3つの条件下での基本モデルを定式化する。また、議論を単純化するため、完全情報の状況を想定する。基本モデルとは異なる条件下でのモデルは4. で定式化する。

(1) 生物多様性

ある地域に N_S 種類の生物種が存在するとする。生物種を変数 s で表す。ただし、 $s \in S \equiv \{1, \dots, N_S\}$ である。ノーネットロス規制の対象となっている生物種は \bar{s} 種類 ($0 \leq \bar{s} \leq N_S$) であるとする。規制対象

の生物種の集合を $S_1 \equiv \{1, \dots, \bar{s}\}$ で、規制対象外の生物種の集合を $S_2 \equiv \{\bar{s}+1, \dots, N_s\}$ で表す。

(2) 開発事業

分析対象地域に N_I 個の潜在的な開発プロジェクトが存在するとする。潜在的な開発プロジェクトを変数 i で表す。ただし、 $i \in I \equiv \{1, \dots, N_I\}$ である。

開発プロジェクトを実施した場合、開発事業者は V^i の利益を得る。一方、生物種 s の種数は X_s^i 減少する ($X_s^i \geq 0$)。プロジェクトにより減少する全ての生物種の種数をベクトル $\mathbf{X}^i = (X_1^i, \dots, X_{\bar{s}}^i)$ で表す。また、ノーネットロス規制の対象の生物種の種数減少をベクトル $\mathbf{X}_1^i = (X_1^i, \dots, X_{\bar{s}}^i)$ で、規制対象外の生物種の種数減少をベクトルを $\mathbf{X}_2^i = (X_{\bar{s}+1}^i, \dots, X_{N_s}^i)$ で表す。

開発事業者はノーネットロス規制の対象種について、種数の減少を補うだけのクレジットを保全事業者から購入する必要がある。開発事業者 i が購入する生物種 s に対応するクレジットを Y_s^i で表す。この時、任意の $s \in S_1$ について $X_s^i \leq Y_s^i$ が満たされれば、開発事業者 i はノーネットロス規制を順守したことになる。開発事業者 i によるノーネットロス規制対象の全ての生物種に対するクレジットの需要をベクトル $\mathbf{Y}^i \equiv (Y_1^i, \dots, Y_{\bar{s}}^i)$ で表す。この時、開発事業者のクレジット購入の費用最小化より、 $\mathbf{Y}^i = \mathbf{X}_1^i$ が成り立つ。

クレジットの価格がベクトル $\mathbf{p} \equiv (p_1, \dots, p_{\bar{s}})$ で表されるとする。プロジェクトを実施した場合の開発事業者の利潤は $\Pi^i = V^i - \mathbf{p} \cdot \mathbf{X}_1^i$ になる。 $\Pi^i \geq 0$ の場合に開発事業者はプロジェクトを実施する。一方、 $\Pi^i < 0$ の場合にプロジェクトを実施しない。開発事業者の意思決定を $\Delta^i \in \{0, 1\}$ で表す。ただし、 $\Delta^i = 1$ はプロジェクトの実施、 $\Delta^i = 0$ はプロジェクトの未実施を表す。

(3) 保全事業

分析対象地域に N_J 個の潜在的な保全プロジェクトが存在するとする。潜在的な保全プロジェクトを変数 j で表す。ただし、 $j \in J \equiv \{1, \dots, N_J\}$ である。保全プロジェクトを実施する場合、保全事業者は c^j の費用を支出する。一方、生物種 s の種数は x_s^j 増加する ($x_s^j \geq 0$)。プロジェクトにより増加する全ての生物種の種数をベクトル $\mathbf{x}^j = (x_1^j, \dots, x_{\bar{s}}^j)$ で表す。また、ノーネットロス規制の対象の生物種の種数増加をベクトル $\mathbf{x}_1^j = (x_1^j, \dots, x_{\bar{s}}^j)$ で、規制対象外の生物種の種数の増加をベクトルを $\mathbf{x}_2^j = (x_{\bar{s}+1}^j, \dots, x_{N_s}^j)$ で表

す。

保全事業者はプロジェクトにより増加した種数に応じてクレジットを獲得する。ダブル・ディッピングが認められていないため、保全事業者は特定の生物種についてしかクレジットを売却できない。ノーネットロス規制の対象である全ての生物種に対するクレジット供給をベクトル $\mathbf{y}^j \equiv (Y_1^j, \dots, Y_{\bar{s}}^j)$ で表すと、 $\mathbf{y}^j = \mathbf{u}^j \otimes \mathbf{x}_1^j$ と表せる。ただし、 $\mathbf{u}^j = (u_1^j, \dots, u_{\bar{s}}^j)$ は $\forall s \in S_1 : u_s^j \in \{0, 1\}$ と $\sum_{s \in S_1} u_s^j = 1$ を満たすベクトル

である。保全事業者は売上が最大になるようにクレジット売却の対象になる生物種を選択する。保全事業者によるクレジットの供給行動は以下の最適化問題で表される。

$$\begin{aligned} & \max_{\mathbf{u}^j} \mathbf{p} \cdot (\mathbf{u}^j \otimes \mathbf{x}_1^j) \\ & s.t. \\ & u_s^j \in \{0, 1\} \text{ for } \forall s \in S_1 \\ & \sum_{s \in S_1} u_s^j = 1 \end{aligned} \quad (1)$$

クレジットを売却した場合、保全事業者の利潤は $\pi^j = \mathbf{p} \cdot (\mathbf{u}^{j,o} \otimes \mathbf{x}_1^j) - c^j$ になる。ただし、 $\mathbf{u}^{j,o}$ は保全事業者の利潤を最大にする最適なクレジット供給を規定するベクトルである。保全事業者は $\pi^j \geq 0$ の場合にプロジェクトを実施する。一方、 $\pi^j < 0$ の場合にプロジェクトを実施しない。保全事業者の意思決定を $\delta^j \in \{0, 1\}$ で表す。ただし、 $\delta^j = 1$ はプロジェクトの実施、 $\delta^j = 0$ はプロジェクトの未実施を表す。

(4) クレジット価格の決定

クレジット価格は、開発事業者によるクレジットの需要と保全事業者によるクレジットの供給の関係によって決まる。また、クレジットの取引メカニズムにも依存する。クレジットの取引メカニズムとしては、多様なオークション・メカニズムや入札メカニズムを考えることができるが、ここでは、抽象化して、クレジット価格の決定メカニズムを関数 $f: \bigcup_{n \in \mathbb{N}} \mathbb{R}^{\bar{s} \times n} \mapsto \mathbb{R}^{\bar{s}}$ で表すことにする。関数 f はクレジットの需要と供給を入力変数、価格を出力変数とする関数である。関数 f を用いることで、クレジット価格を次式で特徴づけることができる。

$$f((-\Delta^i(\mathbf{p}) \cdot \mathbf{Y}^i(\mathbf{p}))_{i \in I}, (\delta^j(\mathbf{p}) \cdot \mathbf{y}^j(\mathbf{p}))_{j \in J}) = \mathbf{p} \quad (2)$$

ただし、 $\Delta^i(\mathbf{p})$ はクレジットの価格に依存して決まる開発事業の有無、 $\delta^j(\mathbf{p})$ は同じく保全事業の有無、 $\mathbf{Y}^i(\mathbf{p})$ は同じくクレジットに対する需要、 $\mathbf{y}^j(\mathbf{p})$ は同じくクレジットに対する供給である。

(5) 社会的厚生

以上の (1) から (4) でオフセット・バンキング制度の基本モデルを定式化した。関数形を特定したり、制度設計のオプションを変更することで、開発事業のコストや保全される生物多様性に与える影響を分析することができる。社会的厚生に与える影響についても分析するため、社会的厚生関数を次のように定式化する。

$$W = \sum_{i \in I} \Delta^i \cdot (V^i - \mathbf{p} \cdot \mathbf{X}_i^i) + \sum_{j \in J} \delta^j \cdot (\mathbf{u}^{j,0} \otimes \mathbf{x}^j - c^j) - \mathbf{q} \cdot \left(\sum_{i \in I} \Delta^i \cdot \mathbf{X}^i - \sum_{j \in J} \delta^j \cdot \mathbf{x}^j \right) \quad (3)$$

右辺の第一項は開発事業者の利潤、第二項は保全事業者の利潤、第三項は生物種の種数の減少に伴う外部費用である。ただし、 $\mathbf{q} = (q_1, \dots, q_S)$ は生物種の社会的価値を表すベクトルである。

5. 拡張モデル

基本モデルを拡張することで制度設計上のオプションの影響について分析できる。ここでは、3.で取り上げた制度設計の論点を念頭に、4つの拡張の可能性を指摘する。

(1) オフ・サイトの代償

基本モデルでは、ある地域内に存在する N_I 個の潜在的な開発プロジェクトは、 N_J 個の保全プロジェクトのいずれからでもクレジットを購入して代償することができるという意味でオン・サイトの代償を想定していた。

オフ・サイトの代償の影響を分析するには、2以上の地域を想定すればよい。そして、各地域にクレジットを取引きする市場が別個に存在し、地域内の保全事業者から購入したクレジットでしか代償できない状況と、全地域に共通のクレジット取引市場が存在し、任意の地域の保全事業者から購入したクレジットでも代償できる状況を比較すればよい。

(2) アウト・カインドの代償

基本モデルでは、開発事業による生物種 s の種数の減少を代償するには、保全事業による生物種 s の増加に対して認められるクレジットしか充てられないという意味でイン・カインドの代償を想定していた。

アウト・カインドの代償を想定するには、開発事業者がノーネットロス規制を満たしたと認められる

ための条件を $\forall s \in S_1 : X_s^i \leq Y_s^i$ から $\mathbf{q}_1 \cdot \mathbf{X}_1^i \leq \mathbf{q}_1 \cdot \mathbf{Y}^i$ へと緩和してやればよい。また、その場合には、開発事業者はクレジット価格を踏まえて生物種毎のクレジットの比率をフレキシブルに変化させることができる。そこで、クレジットに対する需要を $\mathbf{Y}^i = \mathbf{X}_1^i$ から $\mathbf{Y}^i = \arg \min_{\mathbf{Y}^i \geq 0} \mathbf{p} \cdot \mathbf{Y}^i \text{ s.t. } \mathbf{q}_1 \cdot \mathbf{X}_1^i \leq \mathbf{q}_1 \cdot \mathbf{Y}^i$ に変更すれば、アウト・カインドの代償を表現した拡張モデルになる。

(3) ダブル・ディッピング

基本モデルでは、保全事業者が特定の生物種についてしかクレジットを売却できないという意味でダブル・ディッピングができない状況を想定していた。

ダブル・ディッピングが可能な状況を想定するには、保全事業者によるクレジット供給の選択行動を式(1)の最適化問題から次の最適化問題へと緩和してやればよい。

$$\max_{\mathbf{u}^j} \mathbf{p} \cdot (\mathbf{u}^j \otimes \mathbf{x}_1^j) \text{ s.t. } \forall s \in S_1 : 0 \leq u_s^j \leq 1 \quad (4)$$

(4) 多様な取引メカニズム

基本モデルでは、クレジットの価格メカニズムを抽象化して関数 f として表していた。オークション・メカニズムや入札メカニズムを具体的に想定することで関数 f を特定化して、取引メカニズムの違いの影響を分析することができるようになる。ただし、その場合には、開発事業者や保全事業者が完全情報を有するという仮定が非現実的である。不完全情報を有するという仮定に修正する必要がある。不完全情報の場合、開発事業者や保全事業者がプロジェクトの実施を決定する段階における将来のクレジット価格に関する期待形成ルールを新たにモデル化する必要がある。関数 f と期待形成ルールを特定化することで、多様な取引メカニズムに対応した拡張モデルを定式化できる。

6. おわりに

本研究では、生物多様性の保全と開発事業の効率性を両立する実効的なメカニズムの一つとして期待されている生物多様性オフセット制度を取り上げ、まず、制度設計の論点を整理した。次に、制度設計のオプションを評価するための基本モデルを定式化し、モデルの拡張可能性を整理した。

研究発表会までに、モデルに含まれる関数を特定化した上で、制度設計の具体的な論点を検証するための数値実験を行い、オフセット・バンキング制度

の設計に有益な知見を示したい。

参考文献

- 1) Bardsley, P. and Burfurd, I.: Contract Design for Biodiversity Procurement, *working paper*, 2008
- 2) Bayon, R.: Banking on Biodiversity, *STATE OF THE WORLD*, pp. 123-137, ch. 9, 2008
- 3) Buckley, N. J, Mestelman, S. and Muller, R. A.: Baseline-and-Credit Emission Permit Trading Experimental Evidence Under Variable Output Capacity, *Environmental Economics, Experimental Methods*, pp. 9-28, ch. 1, 2005
- 4) Dimas, S. and Gabriel, S. :The Economics of Ecosystems and Biodiversity: an interim report, *European Communities*, 2008
- 5) Garbutt, S.: Victoria's Native Vegetation Management: A Framework for Action, *The State of Victoria*, 2007
- 6) Jessica, F.: Getting Tow for One: Opportunities and Challenges in Credit Stacking, *Conservation & Biodiversity Banking*, pp. 171-180, 2008
- 7) Katrina, M. and Tim, S.: An International Market-based Instrument to Finance Biodiversity Conservation: Toward A Green Development Mechanism, *working papaer*, 2009
- 8) Names, V. , Plott, C. R. and Stoneham, G.: Electronic BushBroker Exchange: Designing A Combinatorial Double Auction for Native Vegetation Offsets, *working paper*, 2008
- 9) Madsen, Becca, Carroll, Nathaniel and M. Brands, Kelly: State of Biodiversity Markets Report: Offset and Compensation Programs Worldwide, *Ecosystem Marketplace*, 2010
- 10) Romstad, E. : Auctions: Theoretical Background and Empirical Applications in Natural Resources, *workingpaper*, 2009
- 11) Stoneham, G. , Chaudhri, V. , Ha, A. and Strappazon, L. : Auction for Conservation Contracts: An Empirical Examination of Victoria's Bush Tender Trial, *The Australian Journal and Resource Economics*, 47: 4, pp. 477-500, 2003
- 12) 上田晃三: オークションの理論と実際: 金融市場への応用, *IMES DISUCUSSION PAPER SERIES*, 2009
- 13) 田中章: HEP 入門 <ハビタット評価手続き> マニュアル, 朝倉書店, 2006

- 14) 林希一郎 編著: 「生物多様性・生態系と経済の基礎知識」 わかりやすい生物多様性, 中央法規, 2010