

集落緑化と地産地消による環境バランス 改善評価ツールの開発と適用 ～エコロジカル・フットプリント指標を応用して～

谷口 守

筑波大学大学院 システム情報系社会工学域

1. 研究の目的

地球環境問題が世界的に深刻化する中で、各主体が問題解決のためにそれぞれに積極的に取り組んでいけるような枠組みの構築が求められている。日本では、地域主権改革などにより、各自治体の裁量が今後さらに高まっていくと考えられ、地域レベルでの環境問題への取り組みにより主眼が置かれることになろう。そのような流れの先には、特定の自治体や地域で生じた環境に対する負荷については、その自治体や地域で責任を負う（受容する）事が今よりも求められるようになる可能性は少なくない。いわゆる地域内での環境面の地産地消（環境バランス：図1参照）が現在よりも求められる時代になることが考えられる。しかし、我々は温暖化などの広域的な地球環境問題を改善するための行動を十分に行っているとはいえない。これは、自分がどれだけ地球環境に影響を及ぼし、また日々の行動をどう変えることでそれがどれだけ改善されるかということを実感として理解しにくいことに大きな原因がある。いわゆる「見える化」の問題である。

一方、日本における従来の住民の生活や生産活動は、地縁的に形成され一定の居住の集積を意味する集落を基礎単位として、集落内での相互扶助、または周辺の集落とのまとまりの中から営まれてきた。¹⁾やや極端な例ではあるが、たとえば国土の人口が3,000万人程度で安定していた江戸時代においては、このような集落をベースに地域ごとで循環型社会が成立し、現在よりも地域ごとの環境バランスがとれていたと類推することができる。高度成長期以降の都市化に伴い、このような地域ごとに環境バランスのとれた暮らしは損なわれ、たとえば一見して集落の外観や環境資源が多く残っている都市圏縁辺部においても、緑地開発や田畑の荒廃、自動車依存化といった環境バランス悪化の流れは留まる所を知らない。

以上の観点から、本研究では大都市圏中心部でもなく、過疎地域でもなく、このような都市圏縁辺部の集落をベースとした暮らしを、環境バランス再考への最前線と位置付ける。また、「見える化」のツールとしては、耕作やCO₂排出にまで至る暮らしの環境負荷を総合的にかつ簡便に計測できるエコロジカル・フットプリント指標を独自に改良して開発する。同時に損なわれつつある都市圏縁辺部の緑と耕作地の持つ環境受容効果をバイオキャパシティ指標として定量化する。これら両指標を組み合わせることで、集落緑化から生産物の購入行動（地産地消化）といった暮らしの改善までを含めた環境改善効果を明らかでできる汎用性ある使いやすい環境バランス改善評価ツールの提案とその応用を行う。

2. 研究方法

本研究の手順と方法は以下の通りである。

- 1) 3章では、環境負荷、集落での暮らし、環境評価指標等、関連する分野の国内外の既存研究、出版物を再整理し、本研究で扱う対象とその概念（地域内での環境バランスとその計測方法）を明確化、体系化する。

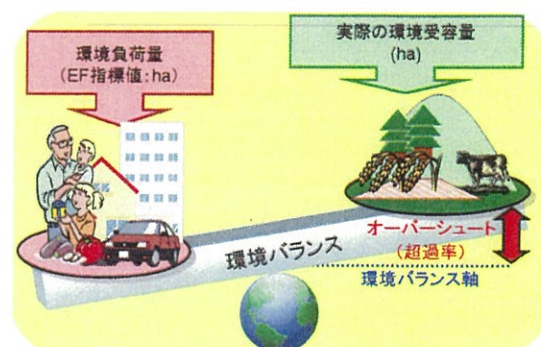


図1 環境バランス概念図

- 2) 分析の対象地域を選定する。本研究の主旨から考えて、環境バランスが急激な速度で損なわれつつある大都市圏縁辺部の集落型地域を対象にするのが最適である。現在までに予備調査を進めた結果、茨城県つくば市の集落エリアを対象として想定している。つくば市は研究学園都市として中心部は急激で完全な都市化が進んだが、その周辺部は旧来からの集落での暮らしが残りつつ、その急激な都市化の影響をも強く受けている地域である。図-2 に対象地域案のごく一部における集落構成例を示す。研究対象地域の概要は3章で説明する。
- 3) 4章では、環境バランスを定量化する上で、環境負荷量を計測するエコロジカル・フットプリント指標の開発を行う。従来の同指標と比較し、地域での個人の暮らしから生じる環境負荷を簡便にかつ個別に計測できるように改良を加える。
- 4) 環境バランスを定量化する上で、環境需要量を計測するバイオキャパシティ指標の開発を行う。詳細な緑や耕作地の情報が必要となり、既につくば市役所の協力も得て基本的なデータの収集を進めている。このバイオキャパシティ指標についても他地域でも簡便に応用展開できる最低限の調査項目をあわせて整理する。
- 5) エコロジカル・フットプリント指標、およびバイオキャパシティ指標はいずれも最終的に面積ベースの指標として換算を行うことになるため、その両者の比較を通じて対象とした集落ごとの環境バランスの達成状況を明らかにする。また、集落ごとに消費品目内容等と受容能力の対応関係をより細かく見ると、その達成状況はより厳しい方向から評価される事になる。
- 6) 5章では、以上のようにして完成した環境バランス改善評価ツールを活用し、いくつかのシナリオスタディにより、集落緑化や地産地消行動の促進を通じた環境バランスの改善状況を定量化する。集落居住者の個人の環境改善行動の効果を明らかにする上で、生活行動に関するアンケート調査を実施し、他地域でも簡便に応用展開できる最低限の調査項目をあわせて浮き彫りにする。各種シナリオは個人ベースによる行動変容から集落における共同作業や合意に基づく地域整備活動に至るまで広範な内容を準備する。また、これと同時に対象とした性格の異なる各集落が、地球環境という観点からおかれた位置づけの違いをも明確化し、各集落の今後の戦略としてメニュー化を行う。

3. 既往研究のレビューと対象地域の概要

(1) 既往研究のレビュー

以下では本研究で用いる指標のうち、現在まで最も研究蓄積のあるEF指標に主眼をおき、既存研究のレビューを行う。EF指標はW.Wackemagelらによって、1990年代初めにカナダで開発された指標である²⁾。EF指標の基本的な算出式としては、Wackemagelらが考案したコンパウンド法がある。なお、EF指標を用いた分析の一貫性の確保を目的として、2006年にはEF指標に関わる研究者・実務者らから構成されるGlobal Footprint Networkにおいて「ECOLOGICAL FOOTPRINT STANDARDS 2006」³⁾が、2009年9月にはその改訂版³⁾が公表されている。また、Kitzedら(2009)⁴⁾によって、国家レベルにおけるEF指標の算出方法の改良点についてまとめられるとともに、さらなる展開に向けたアプローチも提示されている。WWFなどの「Living Planet Report」では、コンパウンド⁵⁾手法を用いて、世界約150カ国のEF指標値を算出している。広域的スケールでは日本においては、既に谷口ら(2003)⁶⁾によって都道府県レベルで、清岡ら(2005)⁷⁾によって、市町村レベルでの検討はなされている。さらに市町村レベルでの改善検討方策について氏原ら(2008)⁸⁾、Chenら(2013)⁹⁾による研究が進められている。

その一方で、Bicknell(1998)ら¹⁰⁾は、産業連関表を利用してEF指標値を算出する手法を初めて提案している。その後、Feng(2001)¹¹⁾によって、Bicknell(1998)らの算出方法における誤りが指摘され、修正が加えられている。わが国においても、伊藤ら(2006)¹²⁾、余川ら(2009)¹³⁾によって、それぞれ国際産業連関表あるいは、地域間産業連関表を用いたEF指標値の算出が行われている。しかし、産業連関表を作成するにあたり、そのためのデータ整備が膨大となることや、地域スケールで利用できるデータ自体が存在しないなど、多くの課題があることも事実である。

また、特定の生産品などを対象とした研究も見られる。例えば、和田(2003)¹⁴⁾は露地栽培と温室水耕栽培におけるトマトの生産方法の違いによるEF指標値の比較する研究や、Kissingerら(2010)¹⁵⁾によって、イスラエルにおける穀物に対するLCAを、EF指標を用いて分析した研究なども行われている。

以上のような既存研究に対して、本研究は以下のような特長を有する。

- 1) 地域住民が自分の日常生活に関わる環境バランスを地域のスケールで比較的簡便にチェックできる仕組みを初めて構築する。
- 2) 環境負荷(EF)に加え、地域の環境受容量(Biopotential: 以下、BCと略記する)を把握し、両者のバランスとしてわかりやすく提示する。これに

よって環境負荷側、環境受容側それぞれの政策効果を把握することが可能となる。

- 3) 地域住民が自らの地域の環境バランスを若干のサポートのもとで自主的に確認できる有用性を有している。
- 4) 地域における居住者特性や地域特性を反映することで、地域にあったメニューを把握することが可能になる。
- 5) 国や地域で整備された小地域スケールでの一般的な統計情報を最大限活用することで、詳細な検討を可能としながら、他地域への適用も可能なツールを目指す。精度と適用性の両面を配慮した開発を行う。

(2) 分析対象都市と対象集落

本研究では先述したとおり、大都市圏郊外部で特性の異なる多様な地域(集落)から構成される茨城県つくば市を対象とする。つくば市は図-3に示す6つの地区から構成され、筑波研究学園都市の開発によって、都心地区は都市的施設・建物が1960年代より順次整備された。さらに、つくばエクスプレスの開通に伴い、交通の利便性が向上、沿線の都市開発も急速に進展している。本研究では研究学園地区として図-3に示す開発が完了した地区を除くすべての市域における集落を環境バランスの実態を検討するための分析対象とした。

なお、本研究では分析を行うに当たり「地図で見つづつくば市の変遷」¹⁰⁾を用いて集落の確認を個別かつ詳細に行うとともに、そのスケールに対応する齟齬の無い統計情報の範囲として大字を採用した。特に都市計画基礎調

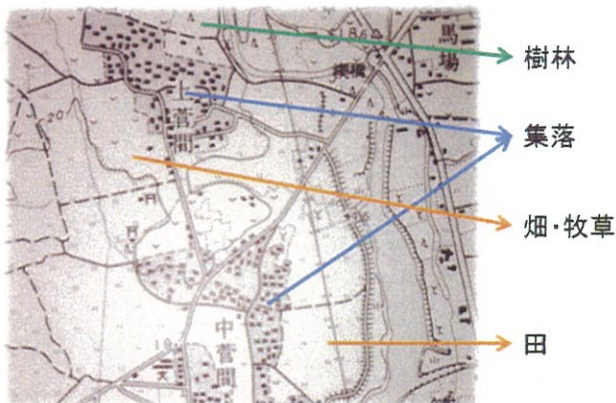


図-2 つくば市の構成と対象集落

表-1 対象集落の概要

	都市的利用 土地面積 (ha)	人口	高齢者 比率	耕作地 面積 (ha)	荒地面積 (ha)	森林地面 積 (ha)	人口密度 (人/m ²)
①松野木	16.2	572	8.7%	16.6	2.2	0.6	16.1
②山口	29.3	471	27.4%	65.1	12	326.6	1.1
③高良田	28.5	451	24.2%	61	21.2	0	3.6
④上里	27.7	451	24.6%	88.4	0	6.6	3.7
⑤天宝喜	18.9	411	46.2%	18	1.1	17.7	7.4

査の土地利用統計区分に対応したデータ¹⁷⁾がこのスケールで入手可能である。検討の結果、134の集落(大字)を分析対象候補として選定した。

(3) シナリオ分析の対象集落

さらにこれらの集落の中から、生活の見直しを行うシナリオ分析の対象とする集落を下記の観点から選定した。

1) 規模が大きすぎたり小さすぎたりする集落は相互比較に適していないため、同じ規模の集落で比較検討を行う。集落では、農業生産活動の維持や向上、冠婚葬祭やその他の生活面における互助の結びつきが残っており、その核は、神社や家屋により形成される居住域、すなわち都市的な土地利用がなされた区域といえる。本研究では、その都市的土地利用面積を集落規模として捉え、つくば市内における平均的な規模の集落を選出した。つくば市の集落の都市的土地利用面積の中央値は21haであり、全体の50%以上を都市的土地利用面積が10~30haである集落が占めている。以上の条件を踏まえ、都市的土地利用面積が10~30haである集落を、同規模の集落での比較検討に適した、対象集落の候補とする。

2) 人口が集中していて、環境に対する負荷が高い集落から、自然資源が豊富であり、環境の受容力が高い集落まで、環境バランスを検討する上で幅広い特性を有する集落が含まれるよう配慮する。

3) 具体的には、上記1)の候補の中から、人口密度、耕作地面積、森林面積、荒地面積、高齢者比率がそれぞれ最大となる集落を抽出した。

これらの集落を人口の多い順に整理すると、表-1、及び図-3に示す通り①松野木、②山口、③高良田、④上里、⑤天宝喜の5集落となる。①松野木は研究学園地区に隣接しており、5集落の中で最も人口密度が高くなっている。この①松野木の高齢者比率が10%未満であるのに対

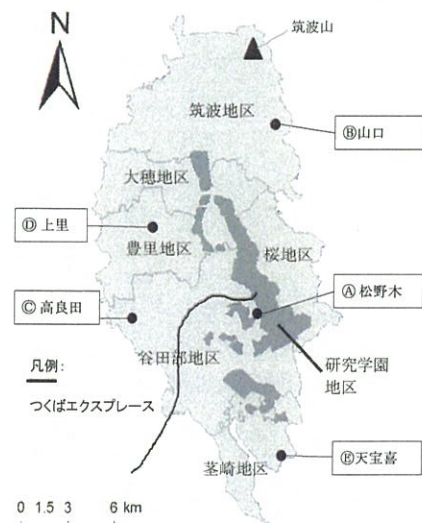


図-3 つくば市の構成と対象集落

し、㊦天宝喜は46.2%であって、日本平均の25%を大幅に上回っている。㊣高良田は荒地面積、㊤上里は耕作地面積、㊢山口は森林地面積が最も広がっており、それぞれ特徴的な土地利用構成となっている。

4. 環境バランス評価ツールの構築と適用

(1) 環境バランス評価ツールの構築

a) 環境負荷量

本研究ではEF指標を用いて集落に発生する環境負荷が実際にどの程度存在するかを定量化する。EF指標の構成要素としては、地区スケールでの適用を念頭に開発が進められている氏原・谷口モデル(以下、UTモデルと略記)⁹⁾の算出方法を参考する。EFの基本式は式(1)のように定義される。また、本研究ではEFを構成する要素として①耕作地、②牧草地、③森林地(紙製品)、④都市用地、⑤CO₂吸着地の5要素を想定し、そのそれぞれの基本式は表-2に示す通りである。また、環境負荷の全体量は以下の式(1)で算定することができる。

$$EF^k = \sum EF_i^k \quad (1)$$

EF^k: 集落kにおけるのエコロジカル・フットプリント(ha)

EF_i^k: 集落kにおける要素iのフットプリント値(ha)

k: 対象集落

i: 対象要素

算出の手順としては、まず、構成要素①～③はUTモデルを骨組みとして、年齢階層別人口数などにより詳細なデータを用いて算出する。次に、構成要素④～⑤は独自に改良したパラメータを開発する。特に構成要素④については、都市的な活動のために利用される土地として、都市計画基礎調査データの都市的土地利用面積を採用した。さらに、EF指標値の中でも一般的に構成割合の最も多くなる構成要素⑤については、より精度の高い検討を可能とするため、民生家庭部門、民生交通部門と運輸部門に分類している。これらの算出に関しては、既存のUTモデルでは、対象課題の有する特性を十分に反映した検討が不可能である。そこで⑤に関しては、下記のような改良を加えている。

- 1) 民生家庭部門については、環境省・経済産業省が「京都議定書の削減約束達成に向けた「国民行動の目安」¹⁸⁾の中で発表した地方別の世帯あたりのエネルギー消費量(住宅の種類、世帯人員別)の数値、また、国勢調査小地域統計の住宅別人口と世帯別人口¹⁹⁾を用いて算出する。
- 2) 民生交通部門については、家計調査により世帯人員別1世帯あたりの年間ガソリン購入量²⁰⁾と都市圏

パーソントリップ調査²¹⁾により最小ゾーン別の平均自動車利用時間を用いて算出し、それを各集落の値として割り当てる。

- 3) 運輸部門については、本研究では全体の環境負荷に対して相対的に大きな比重を占める海外と国内の間の貨物輸送によって発生したCO₂排出量を計算の対象とする。貨物輸送のCO₂排出量は輸送距離、輸送量、CO₂排出原単位を乗じることによって算出する。貨物の輸送量については、財務省貿易統計²²⁾に基づき、輸送距離については、航空マイレージ²³⁾と海運距離²⁴⁾に基づいている。

このような構成に基づく分析を通じ、集落における住民の暮らしから直接発生した環境負荷の実態と環境バランスの現状を簡便に、また他地域にも応用可能という目的を満たす範囲において、現在できる最大限の内容で把握することが可能となる。

表-2 集落スケールでのEFの各構成要素

EF指標の各構成要素	算出式	変数説明
① 耕作地	$F_j^k = \sum_{n=1}^{10} p_n^k \times f_{nj}$	F_j^k : 集落kにおける品目の総消費量(ton) p_n^k : 集落kにおける年齢階層nの人口(人) f_{nj} : 年齢階層nにおける品目jの一人あたり消費量(ton/人)
② 牧草地	$EF_{fg}^k = \sum_{j=1}^{10} \frac{F_j^k}{\alpha_j}$	α_j : 品目jの土地生産性(ton/ha) j: 国民栄養調査による14区分 n: 国勢調査による10区分
③ 森林地(紙製品)	$EF_p^k = \frac{p_n^k}{p} \times q \times \sum_{m=1}^3 \frac{w_m}{\beta_m}$	W_m : 輸入先別mパルプ・チップ需要量(日本)(m ³) β_m : 輸入先別m森林蓄積成長量(m ³ /ha) p: 日本人口(人) q: 家計消費割合(%) m: 3区分(温帯(国内含む)、熱帯、寒帯)
④ 都市用地	$EF_b^k = \sum_s^{13} b_s^k$	b_s^k : 集落kの土地利用i s: 都市計画基礎調査による13区分(住宅用地・商業用地・工業用地・運輸施設用地・公共用地・文教厚生用地・公共空地・公園・防衛用地・道路用地・鉄道用地・駐車場用地とその他の空地)
⑤ CO ₂ 吸着地	$EF_h^k = \sum_{x=1}^2 \sum_{y=1}^4 \frac{P_x^k \times C_x^k + P_y^k \times C_y^k}{\gamma}$	C_x^k : 集落kの住宅の建て方xの二酸化炭素排出量(ton) C_y^k : 集落kの世帯人員yの二酸化炭素排出量(ton) P_x^k : 集落における住宅建て方x別人数(人) P_y^k : 集落における世帯人員yの世帯数(世帯数) γ : 二酸化炭素吸収効率(ton-CO ₂ /ha) X: 2区分(戸建て・集合) Y: 国勢調査による4区分
	$EF_t^k = \sum \frac{P_y^k \times C^k \times k_c \times (t/T)}{\gamma}$	C^k : 集落kにおけるガソリン消費量(CC/人) k_c : 二酸化炭素係数 t: ゾーン別の平均自動車利用 T: つば市平均自動車利用時間
	$EF_T^k = \sum W \times U_{co_2(k)} \times L \times K_c$	W: 輸送量(ton) $U_{co_2(k)}$: 交通手段kのCO ₂ 排出原単位(g-CO ₂ /ton・km) L: 輸送距離(km)

なお、本研究ではその集落での生活に直接関わらない工場等の施設から生じる環境負荷に関しては、今回の環境バランス改善ツールの開発主旨から考えて、意図的に計算から排除している。

b) 環境受容量

本分析におけるBCとは、EF指標値の各構成要素を受け入れるための土地利用面積(例えば、対象地域内の食料消費に伴って必要となる農用地を、その対象地域内でどれだけ準備できているか等)のことを指す。つまり、表-2の各構成要素に対応する形で、それぞれの集落内に存在する環境受容量を定量的に示すこととする。BCの基本式は式(2)のように定義される。

$$BC^k = bc_{fm}^k + bc_f^k + bc_g^k + bc_b^k \quad (2)$$

BC^k : 集落 k における環境受容量 (ha)

bc_{fm}^k : 集落 k における耕作地 (farmland) の面積 (ha)

bc_f^k : 集落 k における森林地 (forestland) の面積 (ha)

bc_g^k : 集落 k における牧草地 (grassland) の面積 (ha)

bc_b^k : 集落 k における都市利用の土地の面積 (ha)

c) 環境負荷超過率の算出

本分析では環境負荷超過率を、「対象とする地の環境受容量に対して、その集落から発生する環境負荷量が、どの程度超過(オーバーシュート)しているのか、それら環境受容量と環境負荷量とのバランスを示す定量的な指標」と定義した。つまり、その指標値が1.0以下の地区は、他地域における環境負荷を自集落内での土地利用において負担(吸収)しているとも言える。集落レベルでの環境負荷超過率(r^k)の算出式を以下に示す。

$$r^k = \frac{EF^k}{BC^k} \quad (3)$$

EF^k : 集落 k におけるEF指標値 (ha)

BC^k : 集落 k における環境受容量 (ha)

(2) 環境バランス評価ツールの適用

ツールの適用にあたって、可能な限り直近の情報を使用することにつとめた結果、都市計画基礎調査(つくば市)は2010年¹⁷⁾、国勢調査小地域統計は2010年¹⁹⁾、家計調査は2011年²⁰⁾、都市圏パーソントリップ調査(東京)は2008年(以下、PT調査と省略)²¹⁾、財務省貿易統計は2008年²²⁾の情報をそれぞれ用いている。本ツールを用いて、つくば市を対象として環境バランスの評価を行った結果を図-4~図-6に示す。

図-4に集落ごとの一人当たり環境負荷量、図-5に一人当たり環境受容量を示す。図-6には式(3)より得られた環境負荷超過率を示す。なお、本研究の対象外とした研究学園地区はいずれの図にも淡黄色で提示している。以上の結果から、つくば市における集落スケールでの環境バランスに関連して、明らかになった点を以下に示す。

- 1) 環境負荷に関する具体的な消費品目のフットプリントを図-4の(a)-(c)に示す。耕作地フットプリントは大きな差が見られないが、家庭エネルギーフットプリントについては、戸建てで世帯当たり人員数の少ない南部の集落で相対的に高くなっている。一方、交通フットプリントについては鉄道などが無く都心までの移動距離が長い北部の集落で相対的に高くなっている。全体のEFを見ると、研究学園地区周辺と筑波地区の環境負荷が高いことが明らかとなった。
- 2) 図-5の一人当たり環境受容量の算出結果により、研究学園地区周辺の環境受容量は相対的に小さい。この逆に西に位置している集落では広大な農地と平地林が存在し、北の筑波地区(筑波山周辺)は豊かな森林資源を保有している。また、牧草地に

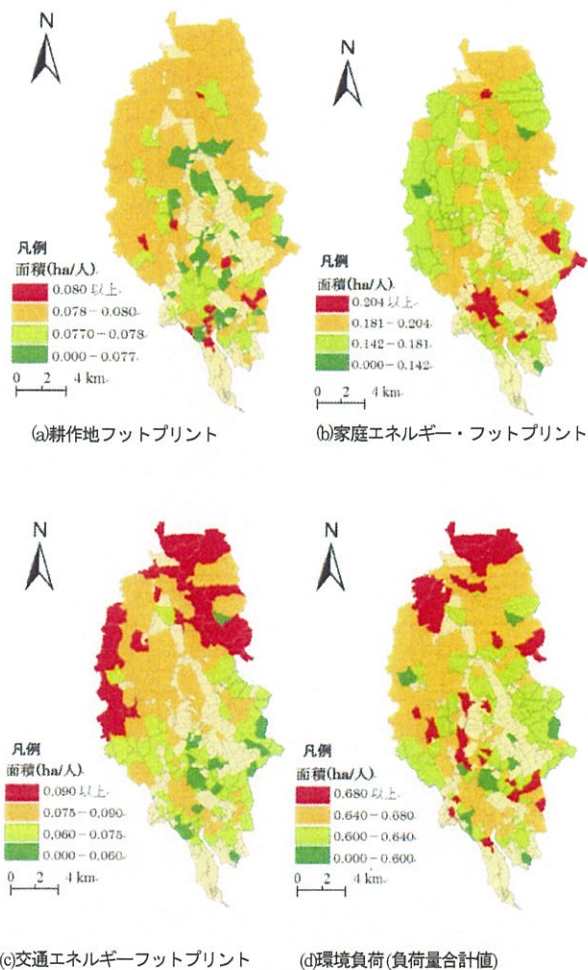


図-4 集落における環境への一人あたり負荷量

関しては、豊里と筑波北になどの地区で散見されるが、全体的に畜産のための土地が少ない。

- 3) 図-6の環境負荷超過率は各集落における環境に関わる地産地消度を示しているといえる。また、UTモデルより、つくば市の平均環境負荷超過率は4.29、茨城県の平均値は2.97で、谷田部・桜地区ではつくば市の平均値を超過している集落があることが示された。それらの地域は都市活動が集積している研究学園地区に隣接しており、都市活動の滲み出しが存在するためと考えられる。また、筑波・荖崎地区では、茨城県の平均値を超過している集落が見られ、都市機能が郊外部へ拡散している状況がEF指標の観点から明らかにできたとと言える。
- 4) 筑波・豊里地区では環境負荷超過率が1以下、すなわち、日常的な生活で発生した環境負荷が環境受容量を本分析で考慮した範囲で超過しておらず、環境負荷に見合うだけの環境受容量を有している集落も少なからず存在していることが明らかとなった。しかし、一人当たりのEFとBCの指標値に対する考察を通じ、環境負荷超過率が1以下であるからといって、その集落の居住者のライフスタイル

の環境負荷が必ずしも低いというわけではない事も明らかになった。単に人口が少ない事で集落での環境バランスが達成されているというケースも散見される。

5. 集落特性による環境改善効果

(1) アンケート調査の概要

本研究の調査概要を表-3に示す。

本研究では地域特性や個人及び世帯の特性との関連付けを目的とするため、一定地域のまとまったサンプルを複数個所で取ることが望ましい。よって、町丁目単位で居住者の全数調査を実施した。対象地域にはつくば市内10集落を選定した。つくば市は地方都市であり、持続可能性の改善可能性が都心・中山間地域に比して多く潜在すると推測される。従って、つくば市内でも、開発計画区域に当たらない、集落的な住環境が残る地域を選定した。調査においては、世帯の特性を調査する世帯票を世帯につき1部、個人の行動実態を調査する個人票を1世帯につき2部配布した。

なお、本研究では実際に地域でも検討が進められてお

表-3 アンケート概要

調査名	つくば市日常生活に関する調査
調査対象	茨城県つくば市内 10 集落(高良田, 山口, 松野木, 天寶喜, 上里, 松野木, 高良田, 飯田, 上萱丸, 中別府)の世帯, 全数調査
調査期間	2014年5月19日~23日
配布・回収方法	ポスティングによる直接配布郵送による回収
配布部数	1180世帯
回収部数(回収率)	世帯数:208(18%), 個人数:329
主な質問項目	<ul style="list-style-type: none"> ・日常の食生活 ・日常の交通行動 ・日常の電力使用 ・環境に対する考えや行動について

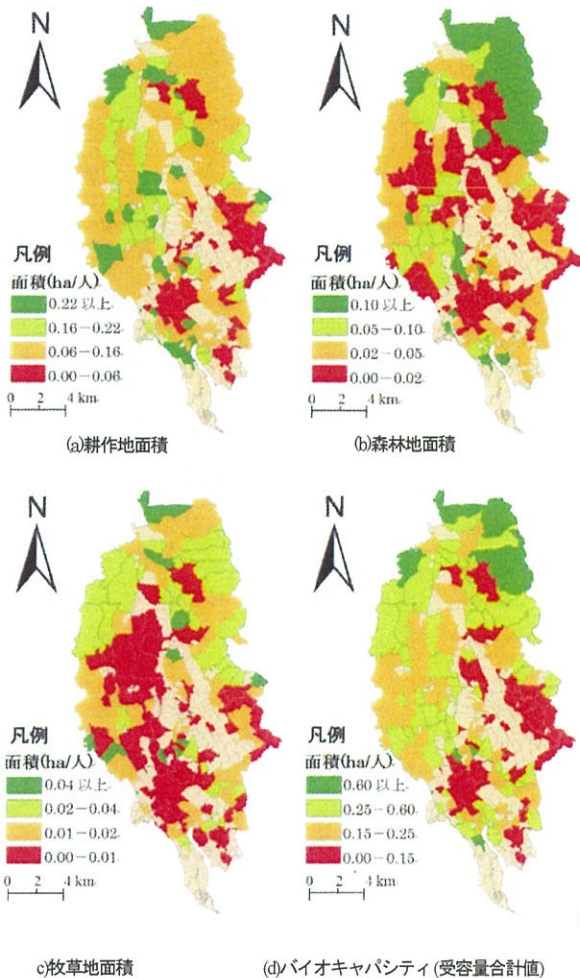


図-5 集落における環境への一人当たり受容量

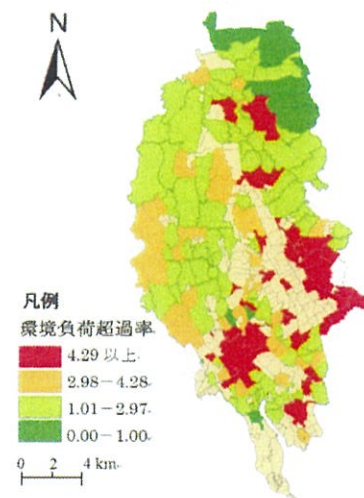


図-6 つくば市における集落の環境負荷超過率

り、何らかの形で実現可能性があると考えられる4つのシナリオ、「a) 太陽光パネル発電施設の導入」、「b) 空間リサイクル」、「c) 食料自給率の向上」、「d) 公共交通の促進」を設定した。したがって、アンケート内容は個人属性など基礎的な情報意外に、それらのシナリオに関する質問を行った。

(2) シナリオの設定

先述のように、本研究では日常生活の見直しを通じ、どのような手法によってどれだけの環境バランス改善効果が得られるかをシナリオ分析する。さらに、集落の特性により、それぞれのシナリオに対する環境バランス改善の程度によって、その場所にとってより適性の高い環境改善方法の検討を模索する。

本研究では実際に地域でも検討が進められており、何らかの形で実現可能性があると考えられる4つのシナリオ、「a) 太陽光パネル発電施設の導入」、「b) 空間リサイクル」、「c) 食料自給率の向上」、「d) 公共交通の促進」を設定した。それぞれのシナリオにおける環境負荷超過率の改善効果の算出方法の概略を表-4に示し、その詳細を以下に整理する。

a) 太陽光パネル発電施設の導入

環境問題の深刻化から環境負荷低減が大きな課題となる中、再生可能エネルギーの積極的な導入が進められるようになってきた。このシナリオでは、対象集落におけるすべての住宅で太陽光パネル発電施設を導入する設定をした。具体的な算出手順は以下の通りである。

- アンケート調査の結果から、集落別で「設置していないが今後設置しよう」と回答した人の割合を算出する。それらの家族は今後太陽光パネル施設を設置すると仮定する（世帯毎 3.5kW、約 40m²の施設）。以上のことによって、各集落太陽光パネル設置面積を推定する。
- 日射量に関しては、最も日射量が得られる 30 度の傾斜角で設置されると想定し、その条件で設置した場合の単位あたり必要面積 11.55 (m²/kW)²⁹で太陽光パネル設置可能面積を除することで、太陽光パネル容量を算出する。
- この太陽光パネル容量に日射量データベース²⁹で得たつくば市の年間日射量とシステム出力係数 0.7 を掛け合わせることで、市区町村別時間別太陽光パネル発電量を推定する。
- 太陽光パネル発電量に二酸化炭素排出係数³⁰を掛けて、CO₂ 排出削減量を算出する。さらに二酸化炭素吸収率²⁷で CO₂ 排出量を除することで、CO₂ を吸収するための森林地削減量を算出する。

b) 空間リサイクル

荒地・耕作放棄地の増加という問題が顕在化してきて

いる。中長期的な視点に立ち、今後の人口減少社会を考えると農村部や都市郊外部における未利用地を、自然的土地利用に再生(リサイクル)するなどの施策が重要になってくると考える。そこで、このシナリオは以下に示す耕作地利用率向上、荒地活用の2つの要素の実施可能性を同時に考える。

まず、耕作地利用率向上については、2005年農林業センサス²⁸を用いて、つくば市の各地区における耕作面積・作付延べ面積の分布状況を把握した。また、都市計画基礎調査によって、各対象集落の耕作地面積を把握し、耕作地利用率を用いて、集落毎の耕作面積と作付延べ面積を算出する。

また、荒地活用については、対象集落における荒地の

表-4 環境負荷超過率改善効果算出方法

シナリオ	環境バランス改善可能量	変数説明
a) 太陽光パネル発電施設の導入	$\hat{EF}_1^k = \hat{EF}_k^h = \frac{S_T \times A}{11.55} \times METPV \times 0.7 \times k_c \times \gamma$ $\hat{BC}_1^k = 0$	S_T : 世帯当たり設置面積(m ²) A : 「設置していないが今後設置しよう」と回答した人の割合 $METPV$: 年間日射量(kwh/m ²) k_c : 二酸化炭素係数 γ : 二酸化炭素吸収効率 (ton-CO ₂ /ha) \hat{EF}_1^k : シナリオa)による集落kのEFの変化量(ha) \hat{EF}_h^k : 集落kにおける民生家庭部門のEFの変化量(ha) \hat{BC}_1^k : シナリオa)による集落kのBCの変化量(ha)
b) 空間リサイクル	$\hat{EF}_2^k = 0$ $\hat{BC}_2^k = \hat{bc}_{fm}^k = S_{fm} \times (1 - \rho_{fm}) + S_w$	S_{fm} : 耕作地面積(ha) ρ_{sun} : 耕作地利用率 S_w : 荒地面積(ha) \hat{EF}_2^k : シナリオb)による集落kのEFの変化量(ha) bc_{fm}^k : 集落kにおける耕作地面積の変化量(ha) BC_2^k : シナリオb)による集落kのBCの変化量(ha)
c) 食料自給率の向上	$\hat{EF}_3^k = \frac{EF_T^k}{P} \times P_n^k$ $\hat{BC}_3^k = 0$	EF_T^k : 食事スタイル改善後の集落kにおける運輸部門エネルギーフットプリント(ha) P : 日本人口(人) P_n^k : 集落kにおける人口(人) \hat{EF}_3^k : シナリオc)による集落kのEFの変化量(ha) \hat{BC}_3^k : シナリオc)による集落kのBCの変化量(ha)
d) 公共交通の促進	$\hat{EF}_4^k = \hat{EF}_t^k = \frac{D \times C^k \times k_c}{\gamma}$ $\hat{BC}_4^k = 0$	D : 「運行頻度が高くなると、バスをより利用するようになる」と感じる」と回答した人の割合 C^k : 集落kにおけるガソリン消費量(CC/人) \hat{EF}_4^k : シナリオd)による集落kのEFの変化量(ha) \hat{EF}_t^k : 集落kにおける民生交通部門のEFの変化量(ha) \hat{BC}_4^k : シナリオd)による集落kのBCの変化量(ha)
環境負荷超過率改善効果	$\hat{r}_i^k = \frac{EF^k - \hat{EF}_i^k}{BC^k + \hat{BC}_i^k}$ $E_i^k = \frac{r_i^k - \hat{r}_i^k}{r_i^k}$	EF^k : シナリオiによる集落kのEFの変化量(ha) i : シナリオ(1~4) E_i^k : 環境負荷超過率改善効果

状況を都市計画基礎調査により把握し、これらの土地が森林地に再生されたケースを考える。

c) 食料自給率の向上

1965年度に73%の水準であったカロリーベースの食料自給率は、長期的に低下傾向にあり、2000年度以降は、40%前後の水準で推移している。²⁹⁾自給可能な米の供給熱量全体に占める割合が大きく低下する一方、畜産物や油脂類の割合が大きく上昇している。このように供給熱量ベースの食料自給率低下の背景には、米の消費量の減少に加え、輸入飼料穀物や輸入油糧作物に依存する傾向が高い畜産物や油脂の消費量の増加がある。このような食料自給率の低下は、海外輸入に伴う大量の二酸化炭素排出によって地球温暖化、海水上昇などの問題を助長している。そこで、このシナリオでは住民の食生活を改善し、食料自給率を向上する設定をした。それによって環境負荷超過率の改善効果を以下のように算出した。

まず、アンケートの結果から集落毎で「飼料は国産」の肉類を購入したい人の割合を算出する。実際に日本国内で生産できるかどうかにも関わらず、海外輸入の飼料を削減すると仮定する。「飼料は国産」の肉類を購入したい人の割合により、海外輸入される食料の削減可能量を把握する。その量を用いて、4.(1)で記述された運輸エネルギーEFの算出方法を参考にして、食料自給率向上による運輸エネルギーEFの削減量を算出する。

また、以上の結果に踏まえて、食料自給率向上による環境負荷超過率の削減効果を算出する。

d) 公共交通の促進

日本の運輸部門からの二酸化炭素排出量は、2004年度において2億6,200万トン(総排出量の20.4%)となっており、1990年比で20.3%も増加している³⁰⁾。このうち、特に自家用自動車からの排出量は1990年比で50%も増加しており、運輸部門の約半分を占めている。これは、モータリゼーションの進展に伴い徒歩や公共交通を代替したことが大きな要因であると考えられる。今後、高齢化社会が進展している中に、公共交通機関が衰退することで、多くの交通弱者が生まれるおそれもある。このような状況を踏まえて、公共交通の維持と促進が重要である。具体的な計算方法は以下の通りである。

アンケートの結果から「運行頻度が高くなると、バスをより利用するようになる」と回答した人の割合を算出する。それらの人が公共交通へと代替可能であると仮定する。代替割合に4.(1)で算出したゾーン別の年間ガソリン購入量を掛けて、削減可能なガソリンの量を推測する。さらに、二酸化炭素排出係数を掛けて、公共交通利用促進によるCO₂排出削減量を算出する。二酸化炭素吸収率でCO₂排出量を除することで、CO₂を吸収するための森林地削減量を算出する。

(2) 集落の特徴をふまえた改善効果の考察

シナリオの実施による環境負荷超過率の削減効果を図-7で示す。分析の結果、以下のようなことが明らかとなった。

- 1) いずれのシナリオにおいては全く改善効果がないような集落は一つしか存在せず、各集落にあった環境改善策を模索することの意義が全体の傾向から示されたといえる。
- 2) 「a) 太陽光パネル発電施設の導入」のシナリオに関しては、㊤天宝喜のような高齢者割合の高い集落において、超過率削減効果がほとんどなかった。それに対して、若年者と壮年者は電気自動車や太陽光発電施設のような新しい技術に対する許容度が高く、暮らしの道具を取り換える可能性が相対的に高い。
- 3) 「b) 空間リサイクル」は集落によってその効果の大きさがかなり異なっている。㊤高良田のように種地となる荒地の面積が広い場合には、この手法は有効に機能する可能性が相対的に高いといえる。もともと森林地面積の比重が高い㊤天宝喜では、比率としてみるとその効果は高くないことが読み取れる。
- 4) 「c) 食料自給率の向上」のシナリオについて、㊤上里のような若者の比率が高い集落では食料の自給による環境負荷超過率削減効果が相対的に少ない。㊤高良田、㊤天宝喜のような高齢者や主婦の比率が高い集落では改善効果も高い傾向を示した。高齢者と主婦は地場産のものを買う頻度が相対的に高く、食生活への関心度も高いことから、食生活を通じた政策への改善効果が高いものと考えられる。

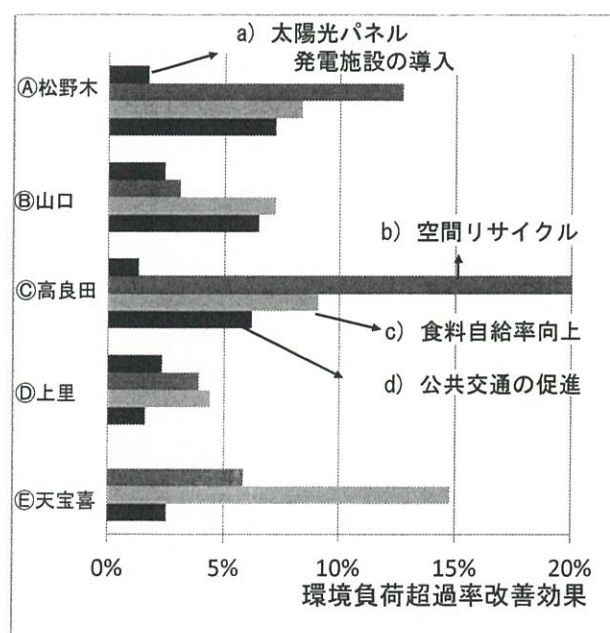


図-7 つくば市における集落の環境負荷超過率改善効果

- 5) 「d) 公共交通の促進」では、㊸山口、㊹高良田など都心に相当する研究学園地区から遠い集落の改善効果が相対的に大きくなっている。これらの地区は公共交通の受容性があるが、利便性が低いため利用者数が現時点では少ないのが実態である。

6. おわりに

本研究の結果、当初の目的どおり、エコロジカル・フットプリント指標を汎用性のある環境バランス改善評価ツールとして活用していくための一定の道筋を示すことができたといえる。なお、緑地や農地についても環境負荷吸収源としての定量的な評価を可能としたが、その質まで含めて評価の精度を高めていくことが今後の重要な課題である。

参考文献

- 1) 国土交通省：国土計画局過疎集落研究会報告書：<http://www.mlit.go.jp/common/000039569.pdf> (最終閲覧 2014/7)
- 2) Wackernagel, M. and W. E. Rees: Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth, New Society Publishers (Canada), 1996.
- 3) Global Footprint Network HP: <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/>, (最終閲覧 2014.3).
- 4) Kitzes, J. Galli, A. and Bagliani, M., et al.: A research agenda for improving national Ecological Footprint accounts, *Ecological Economics*, Vol.68, pp.1991-2007, 2009.
- 5) WWF: LIVING PLANET REPORT 2012: http://www.wwf.or.jp/activity/lib/lpr/wwf_lpr_2012.pdf, (最終閲覧 2014.3).
- 6) 谷口守・阿部宏史・重兼薫：「エコロジカル・フットプリントに基づく都道府県別超過環境負荷の算出」, 日本地域学会学術論文集, No.40, pp.41-48, 2003.
- 7) 清岡拓未, 谷口守, 松中亮治：エコロジカルフットプリント指標を用いたローカルスケールでの持続可能型土地利用政策の検討, 都市計画論文集, No.40-3, pp.55-60, 2005.
- 8) 氏原岳人・谷口守・松中亮治：エコロジカル・フットプリント指標を用いた環境負荷の地域間キャップ&トレード制度の提案-“身の丈にあった国土利用”に向けた新たなフレームワークの構築-, 都市計画論文集, No.43-3, pp.877-882, 2008.
- 9) Chen, H., Ise, S., Taniguchi, M., et al.: Concept of ecologically balanced area based on Ecological Footprint, *Sustainable Development and Planning VI* (ISSN: 1746-448X), WIT PRESS, 2013.
- 10) Bicknell, K.B., Ball, R.J., Cullen, R. and Bigsby, H.R.: New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy, *Ecological Economics*, Vol.27, pp. 149-160, 1998.
- 11) Ferng J.J.: Using composition of land multiplier to estimate ecological footprint associated with production activity, *Ecological Economics*, Vol.37, pp. 159- 172, 2001.
- 12) 伊藤昭男・高橋義文：エコロジカル・フットプリントと産業連関分析—方法論と地域への適用—, 産業連関, 第14巻第1号, pp.27-34, 2006.
- 13) 余川雅彦, 辻宣行, 加賀屋誠一：地域間産業連関表に基づくエコロジカル・フットプリント交易解析, 環境システム論文集, Vol.37, pp.245-253, 2009.
- 14) 和田喜彦：エコロジカル・フットプリント指標によるトマト生産の持続可能性評価—ハイテク農業は食糧問題解決の切り札か—, 日本エネルギー学会誌, Vol.82, pp.36-41, 2003.
- 15) Kissinger M. and Gottlieb D: Place oriented ecological footprint analysis — The case of Israel's grain supply, *Ecological Economics*, 69, 1639- 1645, 2010.
- 16) (財)日本地図センター：地図で見るつくば市の変遷, 1996.
- 17) つくば市都市計画課：つくば市都市計画基礎調査, 2010.
- 18) 経済産業省 第1回地球温暖化対策に係る国民運動の運営会議の開催～京都議定書の削減約束達成に向けた「国民行動の目安」を発表～：<http://www.meti.go.jp/press/20050712005/050712ondanka.pdf>, (最終閲覧 2014.3).
- 19) 国勢調査小地域集計：<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?tid=000001039448>, (最終閲覧 2013.7).
- 20) 総務省家計調査：<http://www.stat.go.jp/data/kakei/>, (最終閲覧 2014.3).
- 21) 東京都市圏交通計画協議会：東京都市圏パーソナリティ調査, 2010.
- 22) 財務省貿易統計：<http://www.customs.go.jp/toukei/latest/>, (2014.3 最終閲覧).
- 23) 航空会社マイレージ比較 HP：<http://www.hikaku.com/mile/>, (最終閲覧 2013.7).
- 24) AXSMARINE HP：<http://www.axsmarine.com/distance/>, (最終閲覧 2014.3).
- 25) NEDO：日射量データベース, <http://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html?from=b>, (最終閲覧 2014.3).
- 26) 経済産業省, 環境省：特定排出者の事業活動に伴う温室効果ガス排出量の算定に関する省令, <http://law.egov.go.jp/htmldata/H18/H18F15002002003.html>, (最終閲覧 2014.2)
- 27) 国土交通省, 国土計画局：自然界の物質循環への負荷の少ない社会を目指した資源消費水準のあり方検討調査, 報告書, 2004.
- 28) 農林水産省 2005年農林業センサス：<http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/2010/05houkokusyo.html>, (最終閲覧 2014.3).
- 29) 国民健康・栄養調査：<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyuu/h23-houkoku.html>, (最終閲覧 2014.3).
- 30) 環境省, H18 環境白書：<http://www.env.go.jp/policy/hakusho/>. (最終閲覧 2014.02).