自然環境総合指標による土地利用フレームの評価に関する研究
－宮城県を事例として－

Evaluation of future land use goals by natural environmental indices
－ A case study of Miyagi Prefecture －

中口　毅博
Takahiro Nakaguchi

This study is attempts to develop three natural environment indices to evaluating land-use goals of comprehensive plan on Miyagi Prefecture: Life Support Index on land, Air Purification Index, and Flood Prevention Index. These indices are calculated since 1972 to 1994 and estimated since 1995 to 2005. If we will carry out land use goals on Miyagi's Comprehensive Plan, all indices accelerate to decrease. On the results of analyzing alternative scenarios, the best scenario is 0.5% urban area growth and 35% natural area. But even the best scenario cannot reach goals of Miyagi's Basic Environment Plan. We need not only strengthen land-use polices but also another measures within each site.

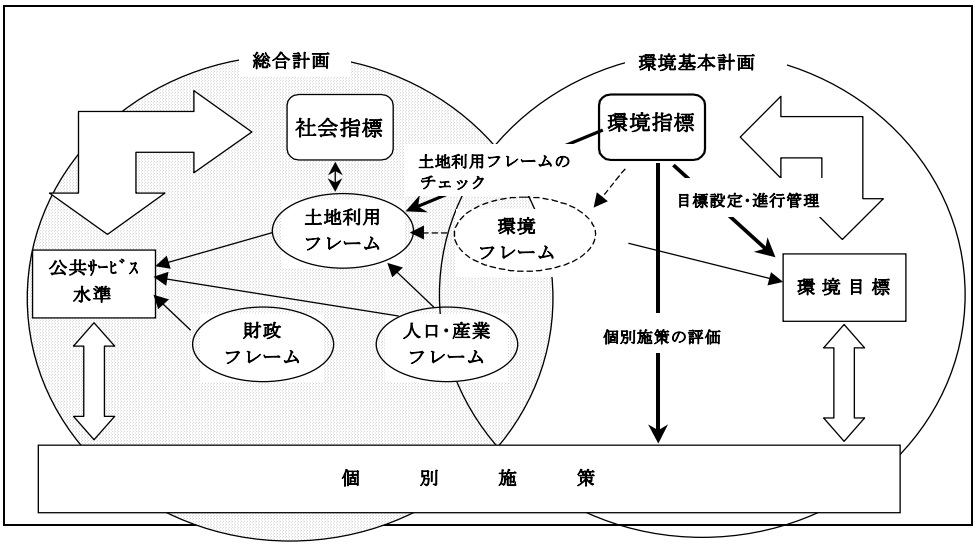
environmental indicator, land use control, local environment plan
環境指標,　　土地利用コントロール,　　地域環境計画

１．はじめに

近年の環境行政における総合的な環境計画(以下環境基本計画とする)においては、地球環境保全や生物多様性確保を環境目標の１つとして掲げることが多くなっている。しかしこれらと総合計画における人口･産業フレーム、用途別土地利用面積の将来目標値（以下これを「土地利用フレーム」と称する）とは必ずしも整合しておらず、環境目標を設定しても実現性の乏しいのが実情である。一方環境状況を図る総合的な尺度として、総合的な環境指標(環境総合指標)(1)が活用されてきたが[1)]、これらは現状評価に重点をおいたもので、目標設定や施策の評価には活用することは困難であった[2)]。これは従来の環境指標が、都市活動や土地利用の変化と必ずしも連動しない構造であったことが一因である。このため環境基本計画は他部門の計画を環境面からチェックする機能が不十分であり、総合計画との関係も不明確であった。

図－１は今後の環境指標の役割と土地利用フレームの関係、およびそれらによって結合されるべき総合計画と環境基本計画の関係を示したものである。環境指標は環境基本計画そのものの目標設定･進行管理のツールとして活用すべきものであると同時に、都市経済活動と環境との調和が叫ばれる今日、総合計画を環境面から評価する役割を果たすことが必要である。具体的には総合計画の目標(公共サービス水準)の環境面からチェックや土地利用フレームのチェック、さらには個別施策(公共事業)の評価等に活用されなければならない(2)。特に今日関心が急速に高まっている自然や生物生息環境保全に関する政策遂行にあたっては、環境指標によって土地利用フレームを評価することが不可欠である。

以上の点を踏まえ、本研究は自然環境関連の総合指標を作成し、それを用いて土地利用フレームを評価することを目的とする。またこれらの分析を通じ、作成した環境指標が総合計画等の土地利用計画をチェックするために有効であることを実証する。



図－１　環境指標の役割と総合計画･環境基本計画の関係

正会員 埼玉大学教養学部非常勤講師　(Saitama Univ.)

２．研究の対象と方法

本研究では宮城県全域を対象として総合指標を作成し、宮城県総合計画における土地利用フレームを評価するものとした。宮城県は平地から山地、大都市から農山漁村まで多様な地域を含んでおり、都市経済活動の自然環境への影響を分析するのに適している。

手順としては、まず研究目的に照らして自然環境指標の要件を明かにし、指標を作成したうえで、総合計画の土地利用フレームに従った場合の環境指標値の増減を把握し、環境面の影響を評価した。さらに新たな土地利用フレームの代替案（シナリオ）を数通り用意し、シナリオごとの環境指標値の増減を把握することによって代替案を評価した(3)。

３．自然環境総合指標の作成

（１）指標の要件と構造

本研究で作成する指標は地域環境計画における望ましい環境像(長期的目標)のレベルに対応するものであり、かつ都市経済活動の変動が指標値に反映されるような構造になっていなければならない。従来よく使われてきた生物指標（特定の野生生物の生息状況等）は、土地利用変化に対し生息状況が敏感に反応しない場合があり、本研究が求める指標の機能からみるとあまり適さない。さらに指標を計画の進捗状況を表わすものとして定期的に公表していくことを勘案すれば、既存の統計データをベースとし、パソコンの表計算ソフト程度を用いることで容易に更新され得るような構造を持っていることが要求される。

そこで指標は以下のような構造をとるものとした。

$$V=\sum_{i=1}^{N} w_i x_i$$

ただし V：総合指標値

w_i：ｉの重み，x_i：既存統計データ(土地利用面積等)

この式は広義の環境政策は、経済活動･土地利用の規模や配置を変更する政策(活動量のコントロール：ｘ$_i$)と、個別的な環境配慮によって環境負荷を削減する政策(環境影響原単位のコントロール：ｗ$_i$)の２要素に分けることができるという考え方を基礎としている。

（２）作成する指標と使用データ

これまで自然環境に関する定量的評価手法として、横張[3]は農林地を対象にした国土保全機能(土壌浸食防止機能や洪水防止機能等)、アメニティ保全機能(保健休養機能や居住快適性機能)、生物相保全機能(陸域や水域の生物生息環境維持機能)を提案し、農業環境技術研究所[4]、中口[5]らはこれらの算定式を提案し実際に総合指標を作成している。本研究では提案されている指標のなかから、定期的な指標値推計が可能で、しかも互いに独立な関係にある陸域生物生息環境指標、大気浄化機能指標、流出抑制機能指標（洪水防止機能に相当）の３つの総合指標を作成するものとした。なお、ここで作成する指標は1997年3月に策定された宮城県環境基本計画において計画目標設定に活用されている。

使用データは「宮城県国土利用計画管理運営資料」および「みやぎ林業白書」を基本とした。これらのデータを用いれば1972年以降の指標値が毎年計算可能である。また指標式における重み w_i決定の際には「第3回自然環境保全基礎調査植生ファイル」（環境庁自然調査室)や「国土数値情報」（国土庁国土情報整備室)、「アメダスメッシュデータ」（気象庁)等を使用した。

（３）各総合指標の算出方法の概要

（Ｉ）陸域生物生息環境指標

生息環境が良い状態とは野生生物の種数が多い状態と仮定し、ここでは人手のはいらない自然状態の生息環境が満点（100点）で表現するものとした。重み w_{Li}は、

$$L=\frac{Lv}{L_0}\times 100 \qquad Lv=\sum_{i=1}^{N} w_{Li}x_i \qquad L_0=w_{L0}X$$

L：陸域生物生息環境指標 値

Lv：現況得点，L_0：基準得点

w_{Li}：土地利用 iの種数，w_{L0}：自然状態での種数

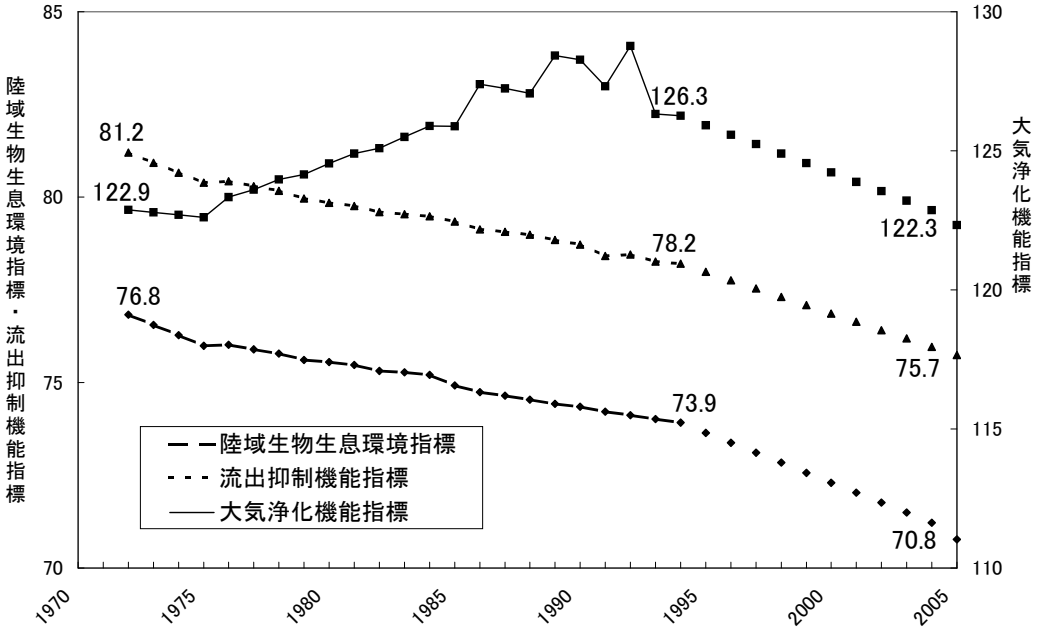
x_i：土地利用 iの面積，X：総面積

表－１ 各指標の土地利用区分別重み

土地利用区分		指標の重み		
	指標名	陸域生物生息環境指標	大気浄化機能評価指標	雨水流出抑制機能評価指標
	重みの根拠	亜高山域の10とした時の指標生物種数w_L	面積あたりNO$_2$吸収量(t-C/ha) w_U	推定非流出係数 w_F
土地利用用途区分				
農地	田	7.51	5.58	0.97
農地	畑	7.17	6.20	0.50
採草放牧地		6.82	4.03	0.42
人工林	針葉樹	8.23	14.57	0.90
人工林	広葉樹	8.55	5.58	0.90
天然林	針葉樹	8.23	11.47	0.94
天然林	広葉樹	8.55	5.58	1.00
竹林		8.23	6.20	0.90
伐採跡地		5.20	0.00	0.77
未立木地		7.94	0.00	0.77
原野		5.33	0.00	0.42
道路		0.81	0.56	0.36
宅地		2.42	1.67	0.36
その他		2.42	1.67	0.36
公園		8.08	1.67	0.44
潜在自然植生(標高帯)区分				
平地・沿岸域（-50m）		8.72	5.58	1.00
里山域（50-300m）		9.16		
山地域（300-600m）		9.20		
亜高山域（600-1300m）		10.00		
高山域（1300m以上）		8.62		

環境庁自然環境保全基礎調査の調査結果をもとに、各土地利用ごとの主要動物の平均種数を求め(4)、種数が最大の土地利用の重みを10とした。その結果、広葉樹＞針葉樹＞公園＞田＞畑＞原野＞宅地＞道路となった(表－１)。

これに基づき、まず自然状態(潜在自然植生の状態)の基準得点L_0、現況の得点L_vを潜在自然植生帯(標高帯)ごとに算出した。次に潜在自然植生帯別に現況得点を基準得点で除し、さらに100を乗じることによって指標値を算出し、これを県全体で合計した。



図－２ 各指標の現状値(1972-94)と予測値(-2005)

（Ⅱ)大気浄化機能指標

重みw_{Ui}は大気中のＮＯ$_2$濃度に植生区分別の面積あたり総生産量を乗じて推定したＮＯ$_2$吸収量をから推定した。大気中のＮＯ$_2$濃度については、県内でも本来地域ごとに異なっているが、ここでは県全体の指標値を出せばよいことから、一律0.02ppmとした。指標値は陸域生物生息環境指標と同様、自然状態を100としたときの得点で表わした。最もＮＯ$_2$吸収量の大きいのは人工林の針葉樹であることから、造林が多ければ指標値は100を超えることになる。

$$U = \frac{Uv}{U_0}\times 100 \qquad Uv = \sum_{i=1}^{N} w_{Ui}x_i \qquad U_0 = w_{U0}X$$

$$w_{Ui} = 15.5 \times c \times p_i \times x_i$$

U：大気浄化機能評価指標 値

Uv：現況得点，U_0：基準得点，w_{Ui}：土地利用 iのNO_2吸収量

w_{U0}：自然状態での NO_2吸収量，

x_i：土地利用 iの面積，X：総面積，c：大気中の NO_2濃度

p_i：土地利用 iの植物集団の総生産量

（Ⅲ）流出抑制機能指標

雨水の流出抑制量を簡便に求めるために、土地利用面積に各土地利用の非流出係数（１から流出係数を引いたもの）を重みw_{Fi}とし、これを乗じて指標値とする。

$$F = \frac{Fv}{R}\times 100 \qquad Fv = \sum_{i=1}^{N} w_{Fi}x_i r_i \qquad F_0 = w_{F0}X$$

F：流出抑制機能指標値 $(0 \le F \le 100)$

Fv：現況流出量，R：降水量 (m^3)，r_i：土地利用 i上の降水量 (mm)，w_{Fi}：土地利用 iの非流出係数，

x_i：土地利用 iの面積，X：総面積

重みについては森林以外については物部の流出係数を、森林については別途既存の研究成果を参考にし、土地利用以外の要因も考慮して決定した。この結果各土地利用ごとの非流出係数は表－１のようになった。

（４）指標作成結果

以上の方法に基づき、県全体での各指標経年値を1972年から1994年まで算出した(図－２)。

陸域生物生息環境指標は1972年の76.8から1994年には73.9まで低下している。極めて単純に解釈すれば県内に生息していた種のうち、(76.8-73.9)÷73.9=3.9%の種がこの間に生息できなくなった可能性があるということになる。自然地･半自然地の減少と宅地化の進行が生物の生息環境を脅かしつつあると言えよう。

大気浄化機能指標は現状で100を超えているが、これは過去に天然林を伐採し成長量の大きい針葉樹の植林が行われてきたことによる。1972年の122.9から1980年代後半までは上昇していたが、それ以降は頭打ちとなり、近年は低下傾向である。木材価格の低落や人手不足で造林が伸び悩んだためである。

流出抑制機能指標は1972年の81.2から1994年には78.2に低下している。極めて単純に換算すれば1972年から1994年までの間に流出量が3.8%増えた恐れがあるということになる。自然地･半自然地の減少と宅地化の進行による不透水面の増大が影響しているといえる。

４．土地利用フレームの評価

（１）現存の土地利用フレームの評価

まず、宮城県の既存の総合計画における土地利用フ

表－２ 現状土地利用と総合計画の将来フレーム

土地利用用途（単位:ha）		1994年	2005年フレーム
		146,886	135,574
農地	田	117,782	108,019
	畑	29,104	27,555
採草放牧地		1,472	1,200
		419,885	414,247
森林	人工林 針葉樹	203,068	213,018
	人工林 広葉樹	3,455	8,516
	天然林 針葉樹	20,361	11,453
	天然林 広葉樹	177,595	141,409
	竹林	2,015	2,015
	伐採跡地	1,452	25,897
	未立木地	11,939	11,939
原野		2,286	2,100
水面		32,568	34,700
道路		28,718	40,888
		40,122	46,921
宅地	住宅地	24,770	27,227
	工業用地	2,827	3,495
	その他	12,525	16,200
		56,359	54,412
その他	公園	1,853	4,039
	その他	54,506	50,373
合計		726,824	728,842

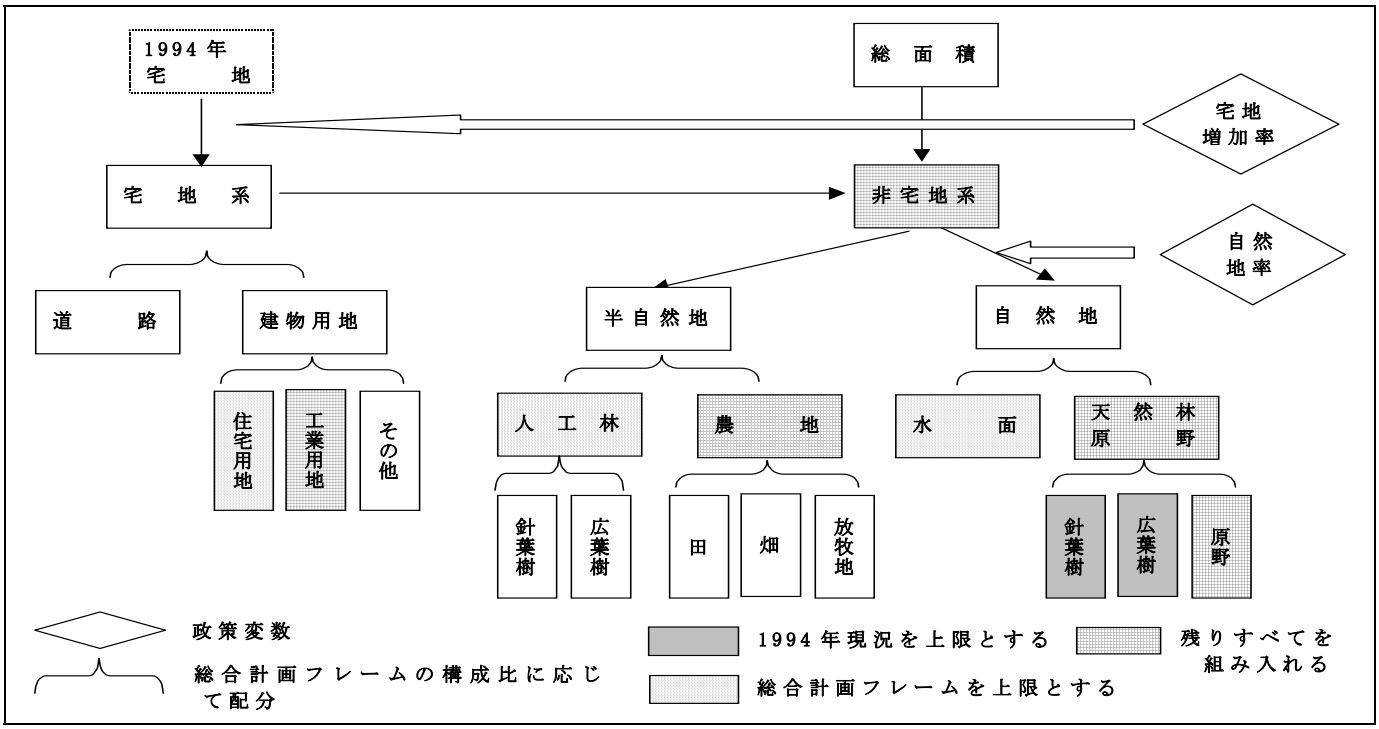
レームが、環境面からみてどう評価されうるかについて検証した。土地利用フレームは総合計画の2005年の目標値を用いたが(5)、森林の林種別内訳については1990年に策定された宮城県森林施業基本方針の2000年の目標値を2005年の値として利用した(6)。両者の整合が取れるよう一部面積を調整した結果、表－２のようになった。1994年に対し、農地が約１万１千ha、森林が約６千ha減少し、宅地が７千ha 、道路が1万１千ha増加することになる。また森林の内訳をみると、人工林が１万５千ha増加し、天然林が５万ha減少、伐採跡地が２万ha増加することになる。

次にこの2005年の土地利用別目標面積を指標算定式に代入したところ、指標値は図－２のようになった。陸域生物生息環境指標が現状の73.9から70.8へ、大気浄化機能指標が126.3から122.3へ、流出抑制機能指標が78.2から75.7へとそれぞれ低下する。1972年から1994年までの年平均増減率と、1994年から2005年までのそれを比較してみると、陸域生物生息環境指標が-0.17%から-0.38%、大気浄化機能指標が+0.12%から-0.27%、流出抑制機能指標が-0.17%から-0.29%とこれまで以上のペースで指標値が減少する。このように既存計画の土地利用フレームの実現は自然環境指標の低下を加速する。

（２）新たな土地利用シナリオの設定

（Ⅰ）シナリオの設定の考え方

次に土地利用フレームの代替案として、いくつかの土地利用シナリオを設定する。18の土地利用区分すべての変動を考慮してシナリオを設定すると、膨大な組み合わせの数になるが、自然環境変化をもたらす主な土地利用変化は、宅地の増加量や自然の質(人手が加わっているか否か)により整理することができる。具体的には図－３のように宅地系と非宅地系に、さらに非宅地系を半自然地、自然地に分け、宅地年平均増加率と自然地率の２つを政策変数として採用した。



図－３ シナリオごとの土地利用面積配分の方法

宅地増加率については、過去から現在までは1.5%であり、総合計画の将来フレームでも1.5%と想定しているが、ここで採用する代替シナリオは、これよりも抑制するものとする。総合計画フレームの２／３に押さえた場合（宅地増加率1.0%）と、１／３に押さえた場合(同0.5%)の２通りを考えた。増加率の伸びをゼロにすることは実現不可能と考え、採用しなかった。

一方自然地率は1994年実績で39%であり、総合計画のフレームでは35%である。自然地率の場合、自然地を減らしても大気浄化機能指標値が上昇することもありうる。そこで代替シナリオではほぼ現状維持の40%とした場合、総合計画どおりの35%とした場合、自然地をさらに減らし30%とした場合の３通りを考えた。

以上の組み合わせにより、２通り×３通りの６つの代替シナリオを設定した。

（Ⅱ）シナリオ別土地利用面積計算の手順

1994年の宅地系面積にシナリオで設定した宅地増加率を乗じて2005年の宅地系面積を求め、総面積から宅地系面積を差し引いて非宅地系面積を求めた。宅地中の建物用地･非建物用地は、総合計画のフレームにおける両者の比で配分した。一方非宅地系については、シナリオで設定した自然地率を乗じて自然地面積と半自然地面積を得た。以下、各土地利用の面積配分は表－２に表わした2005年の数値による比例配分を基本としたが、場合によってはいくつかの上限を設けた(7)。

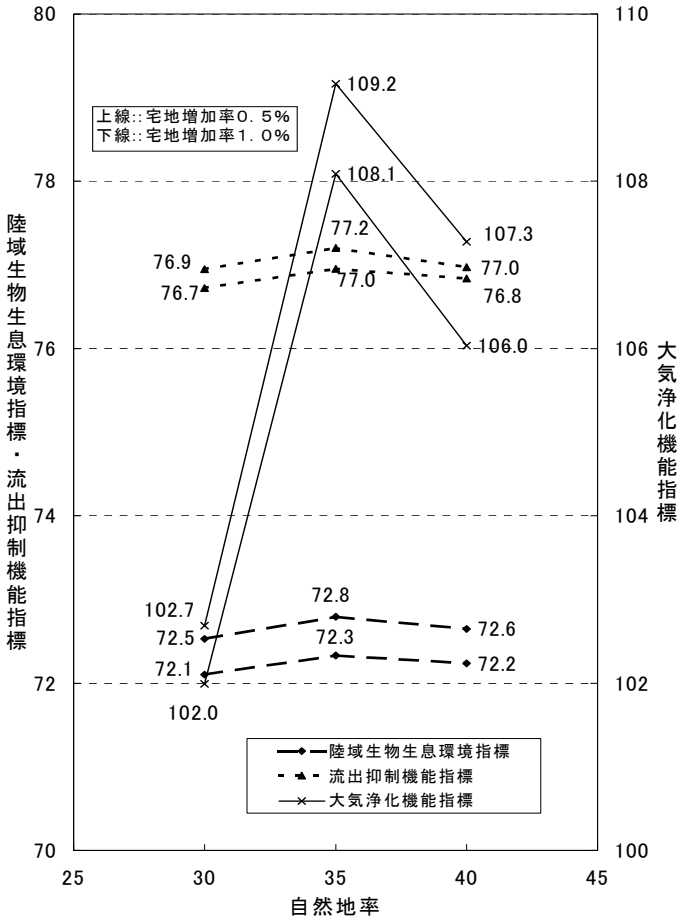
（３）シナリオ別指標値算出結果

シナリオごとの土地利用面積を指標算定式に代入し、指標値を算出した結果を図－４に表わした。

（Ⅰ）陸域生物生息環境指標

1994年の値は73.9であるが、宅地の年平均増加率を１%、自然地率を30%に設定したシナリオでは、72.1と、現状より２ポイント近く低下する。宅地増加率をそのままにし自然地率35%にすると72.3まで回復するが、自然地率40%では72.2と35%の場合より低下する。宅地増加率を0.5%に設定すると、自然地率30%の場合72.5となり、宅地増加率１%のときより0.4ポイント上昇する。自然地率を35%にすると72.8まで回復するが、自然地率40%に上げると72.6と逆に低下する。

このように宅地増加率を抑制すると指標値が高くなるが、自然率は上げれば上げるほど良いわけではないことが分かる。自然地率を30%から35%にするときは天然林伐採を抑制することになるため、指標値が上昇する。しかし現存の天然林面積以上に自然地率を上げた場合、天然林は短期間で育成できないため原野への移行を促進することになる。このとき指標算定式において原野は農地よりも重みが小さいため、陸域生物生息環境指標値を押し下げることになる。



図－４ シナリオ別指標値算出結果

（Ⅱ）大気浄化機能指標

1994年の値は126.3ポイントであるが、宅地増加率を１%に設定し自然地率30%に設定した場合102.0となり、現状より26ポイントも低下する。自然地率を35%にすると108.1まで回復するが、自然地率40%では106.0と35%の場合よりも低下する。宅地増加率を0.5%に設定した場合、自然地率30%では102.7と宅地増加率１%のときよりわずかに上昇する。半自然地率35%では109.2に上昇するが、自然地率40%では107.3とやや低下する。

自然地率40%で指標値が低下するのは、人工林を抑制し原野を増やす政策を取ることになるためである。すなわち指標算定式において、原野のほうが人工林よりも重みが小さく、NO_2の吸収量が劣るからである。

（Ⅲ）流出抑制機能指標

1994年の指標値は78.2であり、宅地増加率を１%に設定し、自然地率を30,35,40%とシフトさせると、指標値はそれぞれ76.7、77.0、76.8となる。宅地増加率を0.5%とするとそれぞれ76.9、77.2、77.0と１%のときより２ポイントずつ改善するが、他の指標と同様、自然地率が35%のときに指標値が最大になる。

この結果は宅地の増加による不透水面の拡大が要因として大きいことを示しているが、自然地率を35％以上に上げることは農地より非流出係数の低い原野への移行を促進することになり、指標値を下げることになる。

（４）土地利用シナリオの評価

以上の結果から、宅地増加率をより抑制し、自然地の割合を35％にするシナリオが環境面からみて最も望ましいといえる。このシナリオを実現するためには、森林･農地の転用や大規模開発の抑制、既成市街地の高度利用など、土地利用やその配置を適正化する政策を強化することが必要である。また、森林･農地の適正な維持管理を図る必要がある(8)。

一方最も指標値が高くなるシナリオであっても、各指標とも1994年の現状値よりは依然として低い。宮城県環境基本計画ではこれら指標値を現状レベルに維持するという目標を掲げており、その達成のためには土地利用政策だけではなく、各用途における個別的な環境配慮政策も必要であることを意味している。

５．まとめと今後の課題

本研究では土地利用変化を反映する構造を持った陸域生物生息環境指標、大気浄化機能指標、流出抑制機能指標の３つの総合指標を作成し、総合計画等の土地利用の将来フレームやその代替案を環境面から評価した結果、以下のことが明らかになった。

1)既存の総合計画等の土地利用フレームに沿って政策を推進すると、３つの指標の低下が加速され環境面からみて望ましいとは言い難い。

2)既存計画の代替案となりうる６つの土地利用シナリオを検討した結果、宅地増加率は抑制するほど望ましいが、自然地の割合は35％程度が望ましく、自然状態に戻せば戻すほど良いとは限らない。

3)最良のシナリオを達成するためには開発規制や森林･農地の適正管理などの政策強化が必要である。さらに環境基本計画の計画目標を達成するためには、土地利用政策だけでなく、各用途における個別的な環境配慮政策も合わせて行う必要がある。

今後の課題としては、第１に最良のシナリオを実現するために要求される土地利用政策を量的に示すことである。第２に、個別的環境配慮施策の環境指標値改善への寄与度を定量的に測ることがあげられる。これにより、環境基本計画における数値目標をの根拠を示すことが可能になり、あらゆるマスタープランを環境面から評価するいわゆる総合アセスメントのツールとしての環境指標の有効性を検証しうると考えられる。

補 注

(1)ここでいう総合的な環境指標(以下総合指標という)とは、単一･個別的なデータで表現されたものではなく、評価関数と呼ばれる数式等によって複数の要素を集約した尺度である。欧米では近年、指標(indicator)のうち総合指標のみをindex(aggregated indicator)と呼んで区別する傾向にある。

(2)元来総合計画のほうに環境フレーム(資源利用や環境負荷、環境状態の目標水準)を組み入れることが理想とも考えられる。

(3)都市経済活動を環境の許容限度内に押さえるといった環境容量の考え方に沿ったアプローチも存在するが、現実には許容限度の計測が難しく、政策プロセスにもなじみにくいため、これまで採用された事例は極めて少ない。したがって本研究では土地利用フレームの代替案を示し、それを環境面の評価指標を用いて優劣を判定し、より良い代替案を選ぶといった視点に立った。

(4) 環境庁が実施した第 3 回自然環境保全基礎調査の指標生物調査結果から、現存植生別の出現種数の全国データが得られる哺乳類（22 種）、鳥類（10 種）、蝶類（11 種）の平均出現率を用いた 6)。この調査では結果として森林性の動物が指標種として多く採用されているため、陸域生物生息環境指標も森林性動物を中心とする生息環境評価となっている。

(5)総合計画における土地利用フレームは、コーホート法による人口予測値や計量経済モデルによる産業フレームに、人口･経済活動あたりの土地利用面積原単位を乗じて算出している。

(6)県庁でのヒアリングによれば、林業の衰退ですでに目標達成は困難になっているが、計画目標のチェックという目的に沿って本研究ではこのまま用いた。

(7)人工林は総合計画フレーム以上の造林は現実に不可能なのでこれを上限とし、上限に達した場合は残りを農地に吸収した。また水面についても飛躍的に増加することは考えられないので、総合計画フレーム上限とし、残った場合は天然林･原野にまわした。さらに天然林については、10 年程度では天然林まで育つことはあり得ないと考え、1994 年面積を上限とし、これに達した場合の残りは原野に転換させるものとした。宅地についても住宅用地は総合計画フレームを上限とし、これに達した場合の残りは工業用地に吸収した。

(8)半自然地の維持管理が放棄されると、土壌浸食防止機能や大気浄化機能が低下し 7)、指標値が減少する。

参考･引用文献

1)内藤正明・森田恒幸編(1995),「環境指標の展開－環境計画への適用事例－」,学陽書房,209pp.

2)環境庁環境計画課･地域環境政策研究会編(1997),地域環境計画実務必携[指標編],ぎょうせい,196pp.

3)横張真(1995),農林地の環境保全機能に関する研究,緑地学研究,13,172pp.

4)農業環境技術研究所編(1987-8),農林業のもつ国土資源と環境の保全機能及びその維持増進に関する総合研究(第 2 集～第 5 集). 195p, 109pp, 122pp, 172pp.

5)中口毅博(1997),地域環境計画における目標管理のための自然環境総合指標の開発－宮城県を事例として－,日本地理学会春季学術大会講演要旨集.

6)環境庁(1985)第 3 回自然環境保全調査結果－解析編－.

7)加藤好武(1998)農林地および農用地のもつ国土保全機能の定量的評価,環境情報科学 27(1),p18-22.