

リモセンデータ、GISを利用した工事インパクトの定量化の試み

AN EVALUATION OF ENVIRONMENTAL IMPACT ON LAND DEVELOPMENT PROJECT
USING REMOTE SENSING DATA AND GIS

高橋直樹*、川田博一*

Naoki TAKAHASHI*、Hirokazu KAWATA*

ABSTRACT; Land development gives impact to local ecosystems. Some kind of method to quantify the impact due to construction activities, will be necessary to promote ecological planning on land development project. By using remote sensing data and scoring method of land capacities keeping ecosystem's balance, it's able to handle environmental change on computer based calculation.

KEY WORDS; Environmental Impact Assessment, Remote Sensing, GIS, Land Development

1. はじめに

近年の頻繁な洪水発生や気温の上昇など地域環境の劣化は、宅地造成などの大規模な土地開発事業の影響が少なくないと考えられる。しかし、大規模建設工事が地域環境に与える影響を定量的に把握した試みは数少ない。また、今後の土地開発を考える上では、現状の開発方法によるインパクトをベースに、立地、設計、施工方法の改良によりこれを80%まで低減するにはどうするか、といった数値管理的な考え方を導入する必要がある。そのためには、これまで定量把握が困難とされてきた生態系などへの環境インパクトを数値化する手法が必要となる。本研究では、従来の環境アセスメント評価項目に加えて、今後、大規模な開発工事を実施する場合に評価すべきと考えられる評価項目を盛り込んだ評価フレームを作成し、各項目についてインパクトの定量化の可能性の検討を行った。定量化の手段として、特にリモートセンシングデータとGIS（地理情報システム）手法の利用を図った。

2. 評価フレームの検討

建設工事が地域環境に与えるインパクトは多岐にわたる。従来より騒音や振動、水質汚濁などのいわゆる公害項目に関しては、比較的良好に管理されている。しかし、長年にわたる開発の蓄積の結果、災害や地域の環境問題などとして表面化してきたインパクトは、因果関係がはっきりしないために評価の対象とされていなかった。地域環境の持続可能性に配慮する場合、このようにはっきりしないが確実に蓄積されるインパクトにも評価の目を向けることが重要と思われる。そこで、地域環境への影響が大きい土地開発工事を対象としたインパクト評価のフレームを作成した。

はじめに、長期的な視点で地域環境の劣化に大きな影響を与えるインパクトを8項目に整理した。これらのインパクトは、その発生要因によって、開発による土地特性の変化に起因するものと、建設工事活動あるいは供用後の人為的活動が直接要因となるものとの2タイプに分類できると考えられる。便宜上、前者をストック型インパクト、後者をフロー型インパクトと呼ぶことにすれば、ストック型インパクトとは、土地が開発行為を受けて変質することであり、回復に時間を要するか、場合によっては自然状態での回復が不可能になる。フロー型インパクトとは、開発中の一時的な汚染や廃棄物の発生等を指し、開発行為の終了後に元

* 五洋建設（株） Penta-Ocean Construction Co., Ltd.

の状態に回復したり、地域の外部に放出されるものといえる。これらのインパクトを把握するために必要と考えられる評価項目を列挙し、表1にまとめた。次に、表1に示した評価項目についてインパクトの定量化に必要な調査方法と定量化の可能性を検討した。評価項目には現地調査によって物理量として計測可能なものと、評価モデル等による推定量として把握できそうなものの2種類あり、特に後者の把握手法としては、非常にマクロ的ではあるが、国土評価で実績の多い土地機能評価モデルが利用できると考えた。

表1 インパクト評価フレーム

インパクトの種類	土地特性の変化による影響 (ストック型インパクト)	建設工事あるいは人為的活動による影響 (フロー型インパクト)
下流域における洪水災害発生量の増加	土地の洪水発生抑制能力の変化 流出特性の変化	—
地下水・河川水の安定供給量の低下及び枯渇	土地の水涵養能力の変化 地下水位、湧水量、河川流量の変化	—
開発地域周辺の生態系の変化	動植物生息域面積、植生自然度、生息動物種数・個体数などの変化	—
水質変化や流出土堆積等による下流域における生態系の変化	河川水、地下水の成分変化 河川、沿岸に生息する生物種構成の変化 河床に堆積した土砂量の変化	施工中の水質汚濁 河川、沿岸に生息する生物個体数の変化 流出水の汚染物質濃度
廃棄物の発生	—	廃棄物・建設副産物の発生量
土壌流出による土地生産力の低下	土壌厚や土壌成分の変化 土地の土壌保全能力の変化	—
開発地域周辺の微気候の変化	開発地域周囲の地表面温度、気温、湿度、風速、風向の変化	—
温室効果ガスの排出	植物による炭素固定量の変化	炭酸ガス排出量

3. ケーススタディー対象とその評価項目の選定

作成した評価フレームに基づいて、実際に施工された開発工事の評価を行った。このケーススタディーの目的は、1) インパクト定量化手段としての土地機能評価手法の適用可能性を検討すること、及び、2) 評価にかかる手間とコストの低減手段として、リモートセンシングデータと、GIS (地理情報システム) の活用を図ること、の2点である。ケーススタディー対象として、過去に施工された土地造成工事を選び、事後評価を行う形を採った。ここでは広島県東広島市東部に隣接して開発された東広島中核工業団地造成工事 (造成面積は約68万平方メートル) を取り上げた。図1、2に位置図ならびに現地の空中写真を示す。評価実施項目は、施工中の実測データが存在しないために、土地機能評価モデルにより実測データなしでも推定可能な項目と、過去の地表状態が記録された衛星リモートセンシングデータや空中写真の分析から評価可能な項目を選択し、表2に示すような6項目に絞ってインパクト定量化の検討を行った。

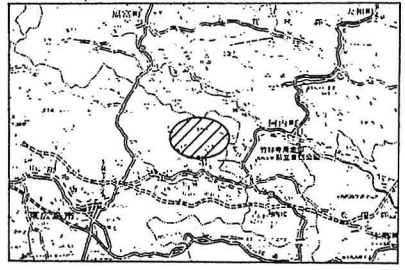


図1 評価対象地域の位置

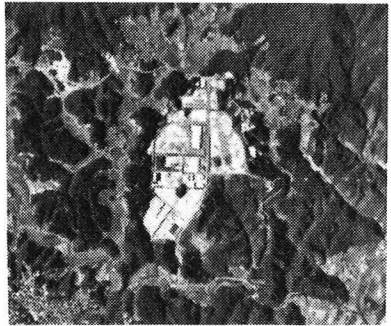


図2 評価対象工事区域

4. 評価方法の検討

表2に示した6項目のうち、洪水防止機能、水涵養機能、植生を主とした生態系保全機能、土壌浸食量の4項目の評価には、土地機能分級評価手法を適用した。地表温度変化は衛星リモートセンシングデータを解析して温度を推定した。炭素固定量は、空中写真と植生図を用いて植物生態系ごとの炭素固定量を算出した。

4. 1 土地機能分級評価モデルの検討

土地の持つ種々の環境保全機能を正確に評価するには、十分な現地調査を行った上で、これを踏まえた分析が必要となる。しかし、それにはコスト、時間ともに多大な負担がかかるうえ、いまだ十分に解明されて

表2 定量評価実施項目 (太枠内)

インパクトの種類	ストック型インパクト
下流域における洪水発生量の増加	洪水防止機能の変化
地下水・河川水の安定供給量の低下	水涵養機能の変化
開発地域周辺の地上生態系の変化	植生を主とした生態系保全機能の変化
下流域における河川・沿岸生態系の変化	工事箇所は内陸部にあり、実質影響は無視できると考えられる
廃棄物の発生	—
土壌流出による土地生産力の低下	土壌浸食量の変化
開発地域周辺の微気候の変化	地表温度の変化
温室効果ガスの排出	炭素固定量の変化

いない部分も多い。従来より国土評価に広く用いられてきた土地機能の分級評価手法は、評価精度は荒いものの、比較的入手が容易な地形図、土壤図、地質図、気象観測値、空中写真等を利用して、低コストで環境のレベルを把握できる利点がある。これまでは主として農地開発や林業開発の適地選定、災害発生危険度の評価などに用いられてきた。この手法を開発による環境インパクトの定量化に適用するには、工事の施工前と施工後の各時点における土地の環境保全機能レベルを評価し、この間の変化を抽出すればよいと考えられる。そこで、既往の研究事例の中から開発によるインパクト評価に適用できそうなモデルを選択した。その結果、農水省から1988年に発表された、「農林水産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」⁽¹⁾の中で提案されている「流域の環境計画策定のための指針」を、洪水防止機能ならびに水涵養機能の評価と土壤浸食量の推定に、また、武内らによる「緑地の持つ環境保全機能の評価と解析支援システムに関する研究」⁽²⁾を、植生を主とした生態系保全機能の評価に適用することにした。これらのモデルは開発工事の評価を対象にしておらず、データの分級方法におけるカテゴリーやスコアの設定は、必ずしも工事評価に適切とは言い切れない。しかし、それぞれに綿密な調査の結果を踏まえて設定されていることから、大まかな傾向を把握するには支障がないと考え、本ケースでは各データの分級スコアの設定、属性データ間の重みの設定などもこれに従った。以下に本ケースに適用したモデルの概要を示す。

土地機能評価モデル（表3-1～5）（「流域の環境計画策定のための指針」農業環境技術研究所、1988より引用）

表3-1 評価式および属性データ

評価項目	評価式	X1	属性データ	αi	スコア
洪水防止機能	$Y = \sum \alpha_i X_i$	X1	土地利用	0.3	1～5
		X2	傾斜度	0.2	1～5
		X3	土壌分類	0.2	1～5
		X4	表層地質	0.1	1～5
		X5	地形分類	0.1	1～5
		X6	降水量	0.1	1～5
水涵養機能	$Y = \sum \alpha_i X_i$	X1	土地利用	0.42	0～5
		X2	降水量	0.21	1～4
		X3	表層地質保水性	0.12	1～3
		X4	地下水位	0.12	1～3
		X5	傾斜度	0.07	1～3
		X6	土壤透水性	0.03	1～3
		X7	表層地質透水性	0.03	1～3
土壤浸食量	$Y = 2.5X1X2X3(X4+X5)/2$	X1	土地利用	—	0.0～1.0
		X2	降水量	—	0.04～1.09
		X3	傾斜度	—	0.01～1.0
		X4	土壌分類	—	0.3～1.0
		X5	土壤浸食区分	—	0.4～1.0
植生を主とした生態系保全機能	$Y = \sum \alpha_i X_i$	X1	植生自然度	0.5	1～10
		X2	植生群落構成	0.5	0～5

表3-2 洪水防止機能属性データの評点

X1	X2	X3	X4	X5	X6
土地利用	傾斜度	土壌分類	表層地質	地形分類	年間降水量
市街地、住宅地、河原、幹線交通路	1	25°以上	1	1	3,000mm以上
河川、荒地、その他	2	15°～25°未満	2	2	2,800～3,000mm
農圃地、畑、その他耕作地	3	8°～15°未満	3	3	2,500～2,800mm
森林	4	3°～8°未満	4	4	2,100～2,500mm
田、畑、沼、海浜	5	3°未満	5	5	2,100mm未満

表3-4 土壤浸食量推定式の属性データの評点

X1	X2	X3	X4	X5
土地利用	年間降水量	傾斜度	土壌分類	土壤浸食区分
荒地	1.00	1°未満	多量腐植土、灰色・褐色低地土、グレイ土、粘土	粘質
採石場	0.78		その他	粘質～粘質
畑地	0.47		その他	粘質～粘質
河原	0.44		その他	粘質～粘質
その他	0.33	1～3°	その他	粘質～粘質
樹木畑、農地	0.32	3～8°	適性褐色森林土、腐植土、赤黄色土、赤褐色土	粘質
水田	0.28		適性褐色森林土、腐植土、赤黄色土、赤褐色土	粘質
住宅地	0.27		適性褐色森林土、腐植土、赤黄色土、赤褐色土	粘質
幹線交通路	0.20		適性褐色森林土、腐植土、赤黄色土、赤褐色土	粘質
市街地	0.17	8～15°	褐色森林土	砂質
森林	0.07		褐色森林土	粘質～粘質
竹林	0.06		褐色森林土	粘質～粘質
河川、湖沼	0.00	15°以上	乾性褐色森林土	砂質

表3-3 水涵養機能属性データの評点

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
土地利用	年間降水量	表層地質の保水性	地下水位	傾斜度	土壤透水性	表層地質の透水性
市街地、幹線交通路	0	1,000mm未満	1	30°以上	1	1E-5 cm/s未満
住宅地	1	1,000～2,000mm	2	10°～30°未満	2	1E-5～1E-6 cm/s
荒地、海浜、その他の耕作地	2	2,000～3,000mm	3	7°以上	3	1E-3 cm/s以上
森林、農圃地、畑、河原	3	3,000mm以上	4	10°未満	4	1E-3 cm/s以上
水田	4					
沼、河川	5					

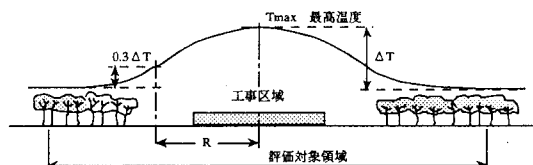
4. 2 地表温度変化の評価

地表面温度の平面的な分布は、リモートセンシングデータの熱赤外バンドの解析によって知ることができ、本ケースではLANDSAT-TMのバンド6*を使用した。

(*LANDSAT-TM：ランドサット衛星に搭載されているセンサーの名称。バンド6は波長10.4μm～12.5μmの熱赤外線を記録し、主に温度解析に使用される。)

表3-5 生態系保全機能属性データの評点

X1		X2			
植生自然度	評点	植物群落構成			評点
		高木層	低木層	草本層	
市街地、工場敷地、造成地、干拓地	1	0%	0%	0%	0
緑被率60%以上の住宅地、水田、畑地、牧草地	2	0%	0%	1~49%	1
果樹園、桑畑、茶畑、植木園	3	0%	0%	50~100%	2
背の低い草原、伐採跡群落、休耕田	4	0%	1~100%		3
背の高い草原、ササ群落、ススキ群落	5	1~100%	50~100%		4
造林地	6	1~100%	1~49%		5
クリ・ミズナラ群落、シデ群落、シラカバ群落、アカマツ群落、クロマツ群落、コナラ群落、竹林	7	伊藤泰志、武内和彦、井出 任他：緑地の持つ環境保全機能の評価と解析支援システムに関する研究、1993から引用)			
ブナ・ミズナラ群落、ミズナラカシ群落、シイ・カシ群落	8				
自然林	9				
自然草原、湿原	10				

図3 ヒートアイランド強度 ΔT とヒートアイランド半径 R の概念（上野賢仁、井村秀文他：都市化に伴う熱環境の変化に関する研究、1993から引用）表4 植物生態系ごとの炭素固定量
(R. H. Whittaker and G. E. Likens, 1975による)

生態系タイプ	単位面積あたりの平均純一次生産 ($\text{ton}/\text{km}^2/\text{年}$)	単位面積あたりの平均炭素固定量 ($\text{ton}/\text{km}^2/\text{年}$)
熱帯多雨林	2200	10.00
熱帯季節林	1600	7.27
温帯常緑樹林	1300	5.91
温帯落葉樹林	1200	5.45
北方針葉樹林	800	3.64
疎林・低木林	700	3.18
サバナ	900	4.09
温帯イネ科草原	600	2.73
ツンドラ・高山	140	0.64
砂漠・半砂漠	90	0.41
耕地	650	2.95
沼沢・湿地	2000	9.09
湖沼・河川	250	1.14

大規模な造成工事は相当な面積を人工地面に変えることから、地表面温度の上昇が予想され、影響は工事領域の周辺にも及ぶと考えられる。そこで、工事による地域熱環境へのインパクトとして、評価領域の平均

地表面温度の他に、上野⁽³⁾が定義したヒートアイランド強度、ヒートアイランド半径の3項目を評価した。

図3にその概念図を示す。

4. 3 炭素固定量の評価

炭素固定量の計算は、現存植生図を参考に空中写真を判読して目指す時期の植生分類図を作成し、表4に示すWhittakerらの研究⁽⁵⁾に基づいて植物生態系ごとの炭素固定量を計算した。

5. 定量化解析

対象工事は1986年に着工され、1990年には造成部分がほぼ完了し、工場建設も一部が始まっている。そこで開発前、開発後の時点をそれぞれ1985年、1990年と判断した。各評価項目の定量化は、1985年における評価値と1990年における評価値との差を取ることで算出した。

5. 1 評価対象領域の設定

評価の対象とする領域は、降水の流出と関係が深い洪水防止機能、水涵養機能、土壌浸食量の3項目は流域単位で行うのが妥当と考えた。流域の抽出は、数値地形データの解析により水系図を作成し、これより決定した。また、生態系保全機能と炭素固定量の評価対象領域は、工事区域周辺のまとまった植物生態系グループを一つの単位と考えて設定した。地表温度変化の評価対象領域は、本ケースの場合、工事による温度変化の影響が見られた範囲が工事区域面積の約1.3倍であったため、工事区域直径の縦横1.5倍の範囲を評価対象とした。

5. 2 属性データの整備

解析に使用した原データを表5に示す。属性データの中で土地利用データは、国土地理院発行の土地利用図では工事の実施時期に一致したデータとして利用できないため、ランドサットデータを空中写真及び現地踏査からの情報をもとに解析し、土地被覆分類図を作成した。年間降水量は工事区域に最も近い東広島市の過去10年間の平均から1497ミリとした。また、空中写真は、1986年に撮影されたものを開発前のデータ作成に利用した。

表5 使用した原データ

地形図、地形分類図、土壤図、 表層地質図、土性区分図、 年間降水量統計、現存植生図、 空中写真：1986,1990 LANDSAT-TM：1985.5.2, 1990.9.21

5. 3 評価値の計算

原データの大半が地図、空中写真、人工衛星画像などの面情報であるため、解析はすべてのデータを2次元配列のメッシュデータ化して行った。1メ

ッシュのサイズはLANDSAT-TMの画素サイズに統一し約30mとした。開発前・後それぞれの時期における原データから前出の評点表に従って分級データを作成し、評価式に基づいて各メッシュごとに評価値の計算を行った。表6に定量評価作業の流れを示した。計算および出力画像の作成にはパーソナルコンピュータのGIS（地理情報システム）アプリケーションを利用した。

6. 評価結果

各評価項目について、流域あるいは工事区域の周辺領域に含まれる全メッシュの評価値の平均をもとめ、開発前後における変化量を計算したものが表7である。本ケースでは、評価対象領域内に対象工事の他に大幅な土地利用変化が見られなかったため、この評価値の変化量を当該工事によるインパクトの大きさと判断した。対象工事のある流域に隣接する流域においても、同時期に宅地造成工事が行われていたため、比較のために流域を評価領域とする3項目についてのみ評価値の計算を行った。

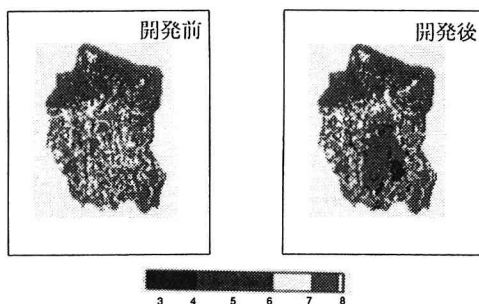


図4 流域における洪水防止機能の変化

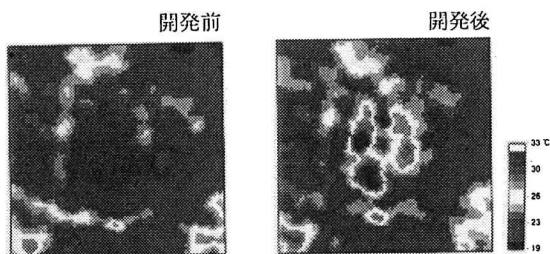


図6 工事区域周辺における地表温度変化

表6 定量評価作業手順

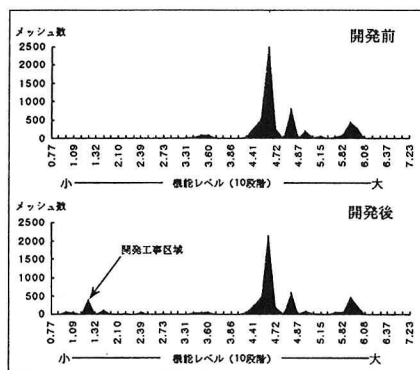
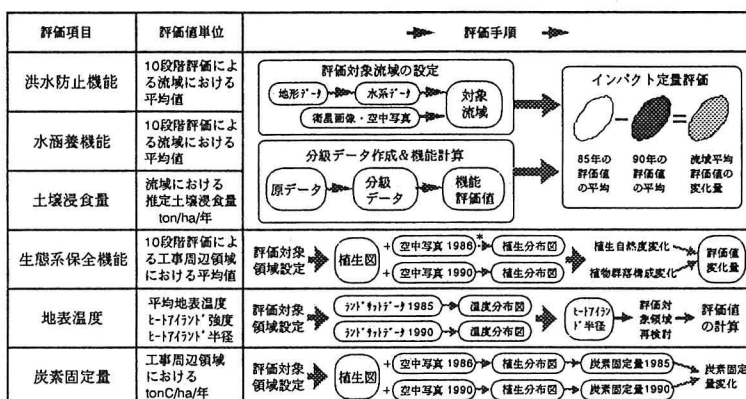


図5 流域における水涵養機能の変化

データ解析の結果、対象工事が、1985年から1990年の5年間に工事区域を含む流域に与えた環境インパクトは、洪水防止機能は約4%低下、水涵養機能は約9%低下、推定土壌侵食量は約47%増加と推定された。また、工事区域周辺地域に与えた環境インパクトとして、生態系保全機能は約36%低下、平均地表温度は約1℃上昇、植物による炭素固定量は約34%減少と推定された。隣接する宅地造成工事も同様の傾向を示したが、対象工事に比べるとインパクトが大きいと推定された。

表7 工事インパクトの定量評価結果

評価項目	単位	工業団地造成工事			宅地造成工事		
		開発前	開発後	変化量	開発前	開発後	変化量
洪水防止機能	10段階評価による流域の平均値	5.586	5.359	-0.228 (-4.1%)	5.796	5.420	-0.376 (-6.5%)
水涵養機能	10段階評価による流域の平均値	4.789	4.338	-0.451 (-9.4%)	4.892	4.316	-0.576 (-11.8%)
土壌侵食量	流域平均土壌侵食量 ton/ha/年	0.17	0.25	+0.08 (+47%)	0.17	0.30	+0.13 (+76%)
生態系保全機能	10段階評価による工事周辺領域の平均値	6.47	4.13	-2.34 (+36%)	—	—	—
地表温度	平均温度 と「ヒートアイランド強度」 ΔT と「ヒートアイランド半径」R	21.9℃ —	22.9℃ $\Delta T=11.2^\circ\text{C}$ R=536m	+1.0℃ —	—	—	—
炭素固定量	ton C/ha/年	666	442	-224 (-34%)	—	—	—

開発後におけるヒートアイランド強度分析によれば、工事区域の地表面温度は、周囲の森林地帯の地表面温度（実際は植物の樹冠付近の温度）よりも最大で約11℃高くなったと推定された。これは、工事区域の一部に建設された建物の屋根および舗装面の熱が大きく影響したと考えられる。また、地表面温度上昇の影響は工事区域から平均 75m外側の範囲まで顕著に表われていることが推定された。

流域における工事区域面積の占める割合が工業団地造成工事が14%、宅地造成工事が10%であったにもかかわらず、後者が流域に与えたインパクトの方が大きく評価されたのは、開発後の1990年の時点で前者は整地が完了し、一部地表面が舗装されていたのに対し、後者は土工事がまだ進行中であったことが考えられる。これより、同一工事による環境影響も、施工中、竣工時、竣工後数ヶ月と、評価する時期によってインパクトの大きさが刻々と変化することが予想される。従って、工事中の各段階においてインパクトの定量評価を行い、開発の全期間におけるインパクトの累積をもって、開発工事が地域環境に与えた全インパクト量と判断することが必要と考えられる。

7. まとめ

リモートセンシングデータと土地機能の分級評価手法を用いることで、陸上の大規模開発工事が地域環境に与えるインパクトの大きさを、部分的ではあるものの定量的に評価する可能性を見いだした。本ケースで使用した土地機能評価モデルには、実際の開発工事の調査事例は反映されていないため、モデル構造及び係数が工事評価に適するかどうかの検討が今後の課題となる。本手法の実用可能性を判断するには、実際の評価精度がどの程度になるのかを見際めることが先決であり、そのためには実工事における実測データの裏付けが不可欠と考えられる。

最後に、本研究を進めるにあたり、ご助言をいただいた村井俊治教授、柴崎亮介助教授、高木方隆氏（東京大学生産技術研究所）、武内和彦助教授（東京大学農学部）ならびに浜崎忠雄、結田康一両氏（農林水産省農業環境技術研究所）に深く感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 農水省農業環境技術研究所：農林水産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5集、p35-71、流域の環境計画策定のための指針、1988。
- 2) 伊藤泰志、武内和彦、井出 任他：緑地の持つ環境保全機能の評価と解析支援システムに関する研究、造園雑誌56（5）p319-324、1993。
- 3) 上野賢仁、井村秀文他：都市化に伴う熱環境の変化に関する研究、環境システム研究Vol. 21、p33-39、1993。
- 4) リモートセンシング技術センター：地球観測データ利用ハンドブック、ランドサット編。
- 5) R. Whittaker, G. Linkens: The Biosphere and Man, Primary Productivity of the Biosphere, p306, 1975。