

(15) 環境容量利用に関する一考察

APPLICATION OF THE NOTION OF HUMAN CARRYING CAPACITY

福島武彦* ・ 原沢英夫*

Takehiko FUKUSHIMA*, Hideo HARASAWA*

ABSTRACT; Carrying capacity is not only one of the fundamental concepts in the field of ecology; the maximum population density that an environment can support, but also gives a theoretical ground for environmental management in terms of the limit of human activity. The classification of resources according to the types of supply, utilization, consumption, regeneration mechanism, etc. provided basic understandings of carrying capacity. Through the comparison of some ideas on carrying capacity, three targets were proposed for the application of this notion to environmental management; (1) regional environment programme, (2) environmental assessment, (3) new indices for the evaluation of socio-environmental conditions.

KEYWORDS; Carrying capacity, Resources, Environmental management, Renewability

1. はじめに

環境容量という言葉は、反公害意識の国民的な高まりが見られた1970年代初めに、環境に対する人間活動の制約を明らかにする概念を提示し、環境科学、環境工学のパラダイムを構成する要素としての役割を期待され登場した。この言葉は、現在でも地球が有限であることを示す理念として用いられ、また閉鎖性水域、都市大気環境における発生源の総量規制の理論的基盤になり、市民権をもたらしたが、初期の期待に比べ概念の発展、利用に物足りなさを感じさせる。生活レベルの向上などを原因として、環境問題は急激に肥大化しようとしているが、ここではもう一度環境容量概念にこだわることから、その利用に向けての基本的視点を明らかにさせたい。以下に、2. では生態学用語である Carrying capacityと資源に関して議論を行う。3. では既往の環境容量の定義と分類を整理する。最後に4. で環境容量概念の利用の方向を探る。

2. Carrying Capacity と資源

E. P. Odum(1971)によれば Carrying Capacity とは "The maximum population density of a given species that an environment can support without being degraded" と定義され、日本では環境の収容力、包容力、環境許容量などと訳されている。個体群の生長は一般にシグモイド型になることから、Carrying capacityは次式中のKで定式化される(Nは個体数、tは時間、rは生長率)。

$$\frac{dN}{dt} = r(1 - N/K)N \quad (1)$$

H. T. Odum(1983)は式(1)があてはまる機構として(a)循環資源の保存、(b)密度効果による生長速度の減少、(c)Nの二乗に比例した排出、(d)しきいからの差に比例した汲み上げ、(e)backforceをもつエネルギー供給、を挙げているが、一般的には(a),(b)のような密度依存的要因を念頭に置いている。しかし、式(1)が成立するには、(f)密度効果がすべての個体に同等に働く、(g)出生率、死亡率は密度変化に伴い直ちに变化する、

(h)個体数は安定な年齢分布を継続する、等の仮定が必要となるが、一般に満足されないことが多い。このため、(f)には確率関数としての出生、死亡率、(g)には時間遅れの効果、(h)には年齢分布遷移を考慮して解析している例がある(ピール、1974)。

Nを地球上の人口とすると、Nの変化は式(1)よりも指数関数的な増殖式に適合している。さらに、生長率と密度の間に正の相関が見られる唯一の例となっている(Odum, 1971)。農業生産の増大、技術革新によるKの実質的な増加、死亡率低下によるネットの生長速度の増加がその原動力と考えられるが、「西暦2000年の地球」(1980)によれば世界人口は2000年 63.5億人、2030年 100億人、2100年 300億人と予測される。これに対して全米科学アカデミー(1969)は、「厳しい管理下において、世界が多少の余給と個人の選択を残しつつ収容できる人口」として100億人、「個人の自由と選択を犠牲にして大多数が慢性的な飢饉に近い状態を我慢して収容可能な人口」を300億人と予測している。これらの人口が E. P. Odumのいう環境を永続的に劣化させない人口であるかとの議論はともかく、世界人口が飽和に近いレベルに達していることは疑うことのできない事実といえよう。高度に組織化され、成熟した群集ほど個体群密度の変動は少なく、また進化にあたっては包容力よりかなり下方で密度調節を行う方向性が認められることから(Odum, 1971)、人類は個体群としては未熟な段階といえるのかもしれない。

環境の収容力を支えるものとして資源の概念が登場する。資源の分類には様々なものがあるが(表1)、この内要素で分けてみたのが表2である。人間を他の生物種と同列とした生態系、特に人間に注目した人間系に分けるとともに、素材、

機能、構造というカテゴリー(Bishopら, 1974)によればシステムの種類)による分類も行っている。ワット(1975)は資源の要素として物質、エネルギー、時間、空間、多様性が挙げているが、表2はそれを拡張したものになっている。生態系での機能、構造が時間的に蓄積したものが遷移、進化であり、人間系では文化となる。次に、資源の供与及び消費の形態で分類を行ったのが表3である。供与とは地球上の生物にもたらされる方式を表していて、補給のないストック型、連続補給のフロー型に分類される。また、消費の形態では再び同じ利用が可能かどうかでrenewable, non-renewableに分けている。例えば表2の要素で考えてみると、物質、空間は供与の形態としてストック、消費の形態としてrenewable(non-renewableであればKは時間的に減少するので、式(1)が成立するためには物質、空間はrenewableでなくてはならない)、エネルギー、時間は外界からのフロー、non-renewable、

表 1 資源の分類方法

天野博正(1973)	分類状態、更新の可否、生物・無生物、人口のもの(人的、文化的、社会的、設備的、生産物)
Bishop et al.(1974)	更新の可否、可動性、システムの種類(自然、インフラ、社会)、所有形態
Watt(1975)	要素(物質、エネルギー、時間、空間、多様性)
USNM & USGS(1976)	確認の有無(確認-測定、確定、推定、未発見-仮定、投機)、経済性
北島(1987)	環境資源の機能(物質の拡散・貯留・同化、原材料の供給、生活・生産の場の提供、アメニティサービスの提供)

表 2 資源の要素による分類

	生態系	人間系
素材	物質、エネルギー 時間、空間	物質、エネルギー 時間、空間
機能 (素材を利用する方法)	器官	道具
構造 (集団としての機能)	多様性	社会、法、経済制度

表 3 資源の供与、利用、消費、価値を再生産する機構の形態による分類

A. 供与の形態	A-1	ストック	
	A-2	外界からのフロー	
	A-3	内部からのフロー	
B. 利用の形態	B-1	ストック	
	B-2	外界からのフロー	
	B-3	内部でのフロー	1 (生物資源)
	B-4	内部でのフロー	2 (無生物資源)
C. 消費の形態	C-1	renewable	
	C-2	non-renewable	
D. 価値を再生産する機構の形態	D-1	renewable	
	D-2	non-renewable	

機能、構造に関するものは内部からのフロー、renewableであることがわかる。なお、従来の分類法（例えば Bishopら, 1974）ではストック＝non-renewable, フロー＝renewableとされ、太陽エネルギーはrenewable、土地、鉱物資源はnon-renewableに分けられていたが、ここでは供与と消費とに分けて考えているので逆になる。

しかし、以上を人間活動に対応させて考えると若干の問題が生ずる。すなわち、例えば水資源を例にとると、我々が主に利用しているのは降雨・流出・蒸発サイクルの一部であり、そのフローの過程が問題となっている（海水の淡水化は水のストックとしての利用）。また、消費にあたっては、理論的に再生可能としても経済的に不可能な場合もある。このため、人間活動に係わる資源を分類する時には利用及び価値を再生産する機構を軸として考えた方がわかりやすく、その分類方法を同じく表3中に示す。利用の形態では内部でのフローをB-3、B-4と、それぞれ種が必要な場合（生物資源）と必要でない場合（非生物資源）に分けている。これは資源の最適利用の方針が、前者では最大持続生産量（MSY）のような最適量の維持にあるのに対して、後者ではそれがなく最大量の利用が図られるためである。表4には人間活動にかかわる資源をこうした軸で分類した結果を示す。なお、

先の供与、消費による分類と比べ利用、価値を再生産する機構による分類は技術革新、経済性の変化などがあるので若干あいまいである。以上の他に、資源を分類する方法としては価値によって分けるものがある。その一つは重要度で、(1)個体として代替不可能なもの、(2)集団として代替不可能なもの、(3)機能が代替不可能なもの、があり、もう一つは時間的特性である

表 4 人間活動にかかわる資源の利用及び価値を再生産する機構の形態での分類

資源	利用の形態	機構
水資源	B-4	renewable
漁業資源	B-3	種を絶やさなければ renewable
農業資源	B-3	肥料の投入等の過程を加えて renewable
林業資源	B-3	岩石の風化、降雨等の供給を加えて renewable
鉱物資源 (化石燃料資源)	B-1	non-renewable
観光資源 (アメニティ、文化資源)	B-1	環境劣化しなければ renewable
遺伝子資源	B-1	renewable

（未来に置ける状態の評価、例オプション価値）である。前者の(1)には文化財、(2)には狭義の自然保護があてはまり、表4に記したような人間活動にかかわる資源は(3)に相当する。

最後に、資源と環境の収容力との関係を考えておこう。資源の形態から、環境の収容力を決定するタイプとしては、(7)ストック型資源で再生の過程が十分に働いていなく資源の枯渇を生じるもの（土地、金属）、(4)過去の遺産として蓄えられたストック型資源でnon-renewableなもの（化石燃料）、(9)フロー型資源（B-2,B-4）でフローの量を需要が上回るもの（食糧）、(1)フロー型資源（B-2,B-4）で再生過程が不十分でカスケードの利用が不可能になっているもの（水、大気）、(6)フロー型資源（B-3）で管理のまずさから最大のフローが得られていないもの（漁業、林業）が考えられる。

3. 環境容量 その概念、分類、応用

環境容量を真っ向から論じた論文はあまり多くはないが、ここではその内4つの代表的なものを選び、環境容量の概念、分類に関して整理を行った（表5）。この内、Bishopら（1974）のものは用語として Carrying capacityを用いているが、2. で述べた生態学のものとは異なり地域環境計画を対象としている。また、江山(1974)は自然公園の収容力を題材としているが、その考え方は環境容量に通じるところが多いので取り上げた。表5では対象場を自然、生活圏に二分している。2. で取り上げた生態学の Carrying capacity との違いは、(1)人間活動による資源の劣化の評価を中心としている（例外は Bishopらの supportive capacity）、(2)Renewableな資源の再生方法、再生化の限界、再生しない場合の枯渇の問題が中心といえよう。すなわち、資源と環境の収容力との関係でいえば、2. で述べたタイプ(7)、(1)を対象としている。

個別にみると、末石らのものは空間場を明確にしたこと（生活圏、接続領域、純自然）、環境容量の時間

的变化も対象としたこと、活動量、受容可能な指標物質量という評価対象を定義したことが特徴である。資源としての評価は施設、社会的合意形成能力の観点から主に行われ、その強化策が検討されている。しかし、評価対象の指標化方法、空間場のあてはめ、環境容量Ⅰをゼロとすることが達成可能なものであるのか、等の問題点を有している。Bishop らは資源の制約的条件を問題としているが、具体的に環境劣化 (Assimilative capacityの制約及び低下) をどのように評価するかの視点が欠けている。江山は表5に記した生態的、形態的容量以外に入り込む側の特性で決まる入込地域容量を考えているが、これはsupportive capacityの範ちゅうである。形態的容量については利用適性という観点で具体的な検討を行っているが、生態的容量は内藤の第2種環境容量と同じく観念的なレベルに留まっている。内藤の第1種環境容量は政策的に総量規制を裏付けるものである。構成要素としては汚染浄化能、環境場の広がり、生態系影響の限界 (外的規範)、許容排出量から成り立っている (内藤、1977) が、特に外的規範—環境基準をどのように決めるかが課題として残る。

表 5 環境容量の概念と分類

	末石ら (1972)	Bishop et al. (1974)	江山 (1974)	内藤 (1974)
自然	還元・同化能力はゼロと考えるべき(環境容量Ⅰ)		回復力(生態的容量) 適性(形態的容量)	安定が保たれること (第2種)
生活圏	緩衝域で受容可能な量 (環境容量Ⅱ、Ⅲ) 生活圏で時間的に失われていく容量もあり (環境容量Ⅳ)	自然、インフラ、社会システム のもつ資源供給能力(Supportive capacity)及び廃棄物同化能力 (Assimilative capacity)		機能を維持するために必要な レベル以下となるような排出量 (第1種)

表 6 容量概念を環境問題に適用した例の分類

言い換え	例	注
(1) 理念としての容量	栗原(1974)	宇宙船地球号のような言葉に代表される地球の資源、環境の有限性を示す理念
(2) 許容排出量の空間積分値	水質・大気の総量規制 Gillilandら(1981)、川上ら(1983)、 二階ら(1987)	発生源の配置、配分の問題 人口あるいは水処理のコストで表現しているものあり
(3) 利用適性	磯部ら(1975)、川上ら(1983)	開発の危険度として相対的に評価される 植生、地質、傾斜などが評価変数
(4) 施設、空間の最大能力	江山(1974)、Shelbyら(1981)、 品田(1987)	レクリエーション維持容量、入込客収容力、Human Ecological Space などと呼ばれる
(5) Carrying capacity への影響	Downeyら(1981)、Harberら(1983)	Carrying capacity X への影響の評価
(6) 蓄積的影響	堀内(1977)、Paces(1985)	ダムの堆砂許容量、土壌の緩衝能力など
(7) 自然浄化能	宗宮(1988)	どのような変化を自然浄化能と見なすか、変化速度は何に支配 され、どのように表現するべきか等、問題点多い

次に、環境容量あるいは環境問題で～容量と呼ばれているものの使用例を分類してみると表6のようである。(2)中の総量規制のように行政的に利用されているものもあれば、(1)のように理念として生かされているものもある。表7にはその分類軸を示しているが、例えば(3)の利用適性は、自然地域における生活圏の開発に際しての、ストレスの影響側の、予想される資源劣

表 7 容量概念の適用例の分類軸

- 自然か生活圏か
- 資源の利用能力 (Supportive capacity) か
資源の劣化からの回復能力 (Assimilative capacity) か
- 定常か非定常か
- Countable か uncountable か
- ストレスの発生側か影響側か伝達側か

化からの回復能力を、非定常現象とみて、uncountable に評価した結果である。表6の内、どれとどれを環

環境容量の一表現方式とするかは環境容量の考え方によって変わるが、環境問題の視野の広がりに対応の手法を考える上で表6は役立つであろう。

4. 環境容量概念の利用に向けて

2., 3. の議論から、環境に永続的に存在しうる最大の個体数という生態学のCarrying capacityに対して、環境容量はそのCarrying capacityを減少させる、あるいは人間生活に障害を生じるまでの人間活動量といえ、環境に対する人間活動の評価に重点が置かれている。環境容量の分類には表5のようなものがあることを紹介したが、ここでは利用の方針で分類し、容量概念の生かし方と問題点を検討する。

4. 1 地域環境管理における利用

青山(1987)は環境管理の内容として(1)規制、削減、(2)保全、保存、(3)利用、創造に分け、管理する項目としてそれぞれ典型7公害、自然生態資源、快適環境資源を上げ、また手法としてそれぞれ環境容量適合性の予測・評価、環境資源利用適性の評価、市民のニーズ・意向把握に対応させている。また、内藤ら(1987)は環境管理計画策定のための主な解析・評価手法を(a)環境容量設定手法、(b)環境利用適性評価手法、(c)環境指標による総合評価方法、(d)環境カルテによる環境診断手法にまとめている。このように環境容量(利用適性も含めて)は地域環境管理に制約条件を与えるものとして位置づけられる。この意味では、環境のミニマムの条件を目標として、それを達成するのに必要な政策、対策案が的確に選択される手法を確立しなければならない。このタイプの利用は、表5では末石らの環境容量Ⅱ、Ⅲ、Bishopらのassimilative capacity、内藤の第1種環境容量と対応している。

こうした観点での環境容量の概念の利用にあたっては、(7)地域の空間スケール、(1)現象の時間スケール、(9)評価基準、に注意しなければならない。まず(7)では、階層のある場合と並列的な場合がある。前者ではカスケード最終段階でも制約条件が満足されなければならないが、そのためには表2における道具、社会・法・経済制度といった資源が必要となる。後者の並列的とは、一地域の制御が他の地域の環境劣化をもたらす場合を意味する(ポーターら、1978)。例えば、有害廃棄物の輸出、熱帯での木材の伐採等がこれに相当する。この場合、地球レベルで環境ミニマム条件の合意が必要である。次に(1)では、環境状態量の非定常性(定常に至る時間スケールが長い現象)への対応の仕方が問題となる。一般に系からの除去速度が遅いものは、状態量が定常になるのに極めて長い時間が必要となる(例、底質汚染、生体濃縮)。最後に(9)は、価値、危険性として何を考え(例、人類・生物種の絶滅、個人の死、環境資源利用のコンフリクト、アメニティ)、どのように順位づけるかという問題である。水質の環境基準の場合、生存に関わるような健康項目と機能による生活項目の基準があるが、将来アメニティのようなレベルでもミニマム条件の設定が必要であるだろう。また、リスクを考慮した評価体制が望まれる。

4. 2 環境影響評価手法での利用

大規模な開発行為の環境に及ぼす影響を評価するものとして環境アセスメントが存在するが、その中で環境容量概念を生かす方法として、(1)容量消費量、(2)原状への回復可能性(要する時間、費用、損害)を予測、明示することが考えられる。従来、環境アセスメントは開発行為によっても環境基準が遵守されるかどうかにより判定が下されていた。しかし、開発行為は少なくとも環境に負荷を与えることは明白であり、また社会状態等により開発行為の必要性がなくなることも考えられる。このため、容量消費量や回復可能性を予測し住民に対し明示することは地域の環境容量保全のために有効といえよう。

4. 3 環境・社会システムの相互比較、長期展望への利用

現状の環境・経済システムが適切なものであるのか、他の地域でのシステムと比べどのような特徴を有しているか、あるいは将来を考えたようなシステムを目指すべきか、等を考えてゆく際に環境容量の概念は必須なものである。すなわち、資源の供与、利用、消費、再生産の機構を十分に考慮した、supportiveな部分で決まる容量にも配慮した形での環境容量概念の指標化とその計量が要求される。例を挙げると、Zucch-

ettoら(1985)はGotland島での資源、環境、経済システムの解析を通してInvestment ratio (輸入されたエネルギー／自然に賦与されたエネルギー) が地域社会のCarrying capacityの一つの指標であることを報告している。また、ResiliencyとはStabilityの一つの指標として、あるいはStabilityと対立する概念として利用されることもあるが(表8)、内藤(1987)の第2種容量、江山(1974)の生態的容量を表現する重要な概念である。残念ながらHashimotoら(1982)(安全状態に戻る早さ)を除くと定量化されたことがなく、生態系の構造と外乱に対する反応パターンとの関係解析は極めて難しいが(Evansら, 1987, Schulzeら, 1987)、今後それらの指標化、関係の検討を急ぐ必要がある。最後に表9には、我々の考えた、湖沼流域を例とした環境・社会システム指標の構造を示して終りにする。

表 8 Resilience の考え方

Stability と対立する概念		Stability のひとつの指標	
Holling (1978)	変化への適応(→変化への抵抗) 平衡点から遠い現象(→平衡点近傍)	Pimm & Hyman (1987)	Persistence, Variability, Resistance とあわせて Stability を構成する どの程度早く平衡点に戻るか
Vertinsky (1987)	システムが経験していないような events にも安全(→危険)	Hashimoto et al. (1982)	Reliability, Vulnerability とともに安全度を 構成する 平衡状態(安全状態)に戻る早さ
W.E.Odum et al. (1987)	擾乱の後 nominal 状態へ (→擾乱の吸収)	Fiering (1982)	Robustness に対応 意味ある余裕 いろいろなタイプの表現ありうる
Walker & Norton (1982)	不安定環境が作る構造的には簡単な システム(→かなり複雑な、微妙に バランスしたシステム)		

(→)は Stability の概念

表 9 湖沼流域を例とした環境・社会システム指標の構造

環境影響過程	社会活動	環境負荷	環境状態	社会影響
指標のレベル				
1. 状態指標 (一次指標)	人口、土地利用、 生産額、 環境対策費用、 余暇時間	各種負荷量、 固形廃棄物量、 水需要、 親水利用の需要	湖沼、河川水、地下水の 物理、化学、生物特性 (各種水質、生物量)、 流域の緑化率	洪水、渇水、健康、 作物被害、水利用に あたったの処理費用、 親水利用度
2. システム特性指標	エネルギー・物質自給率、 ストック型エネルギー利用率、 地域発展率、集中度	排出率、再生率、 人為負荷／自然負荷、 点源負荷／面源負荷、 流域蓄積率	自然濃度比、 環境基準比、 自然度、多様性、 環境変化率	量及び機能の充足率、 他地域への影響度 (下流への負荷)
3. システム評価指標		フロー型資源の環境容量余裕度、 ストック型資源の再生度、 システム resiliency、代替案、対策案の容易度		

参考文献

- 天野博正 (1973) 人間環境システムの設計方法と戦略. 電力新報社、345pp.
- 青山真一 (1987) 環境管理の客体としての環境と環境資源論. 環境管理シンポジウム、環境庁、99-101.
- Bishop, A. B. et al. (1974) Carrying capacity in regional environmental management. EPA-600/5-74-021, 170pp.
- Downey, P. C. & Klontz G. W. (1981) Aquaculture techniques: Oxygen requirement for trout quality. NTIS, PB81-238560, 42pp.
- 江山正美 (1974) 自然公園における収容力に関する研究 (I). 自然保護、10-15.
- Evans, D.O. et al. (1987) Concepts and methods of community ecology applied to freshwater fisheries management. Can. J. Fish. Aquat. Sci. Vol. 44 (suppl.2) 448-470.
- Fiering, M. B. (1982) Alternative indices of resilience. Water Resour. Res. Vol. 18, 33-39.
- Gilliland, M. W. & Clark, B. D. (1981) The Lake Tahoe basin: A systems analysis of its characteristics and human carrying capacity. Environ. Management, 5, 397-407.
- Haber, D. F. & Brusven, M. A. (1983) Use of invertebrate indicators for ecological resiliency evaluation of a flow regulated river. NTIS, PB83-178087, 84pp.
- Hashimoto, T. et al. (1982) Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resources system performance evaluation. Water Resour. Res., Vol. 18, 14-20.
- 堀内清司 (1977) 湖沼. 土木工学体系 19、彰国社、121-187.
- Holling, C. S. (1978) Adaptive Environmental Assessment and Management. John Wiley & Sons, 377pp.
- 磯部行久 (1975) エコロジカルプランニング. 建築文化、30 (No.344)、49-137.
- 川上浩他 (1983) 自然環境容量の数量的評価方法に関する研究. 日本生命財団研究助成金報告、87pp.
- 北畠能房 (1982) 環境資源論と経済学. 季刊環境研究、37、99-101
- 栗原康 (1974) 生態系とクローズドシステム. 公害と対策、10-1、4-8.
- 内藤正明 (1977) 環境容量に関するシステムの分析. 環境情報科学、8-4、48-50.
- 内藤正明 (1987) 環境容量論. 環境情報科学、18-3、49-54.
- 二階健・中村雅胤 (1987) 紀ノ川における水質環境容量解析調査. 用水と廃水、29-6、15-22.
- Odum, E. P. (1971) Fundamentals of Ecology (3rd Edition). Saunders, 574pp.
- Odum, H. T. (1983) Systems Ecology. John Wiley & Sons, 644pp.
- Odum, W. E. et al. (1987) Suppression of natural disturbance. In Landscape Heterogeneity and Disturbance, Springer-Verlag, 121-135.
- Paces, T. (1985) Sources of acidification in Central Europe estimated from elemental budgets in small basins. Nature, 315-2, 31-36.
- Pimm, S. L. & Hyman J. B. (1987) Ecological stability in the context of multispecies fisheries. Can. J. Fish. Aquat. Sci. Vol. 44 (suppl.2), 84-94.
- ピールー (1974) 数理生態学、産業図書、315pp.
- K. S. ホーカ編著 (1978) 環境保全と窒素・リン. 農林統計協会、369pp.
- Schulze, E. D. et al. (1987) Potentials and Limitations of Ecosystem Analysis. Springer-Verlag, 416-423.
- Shelby, B. & Colvin, R. (1981) Carrying capacity for the Illinois river. NTIS, PB82-243510, 56pp.
- 品田鶴 (1987) 都市の人間環境. 共立出版、1-112.
- 宗宮功 (1988) 自然浄化能の定量化. 国立公害研究所 第1回環境容量シンポジウム 予稿集、II.
- 末石富太郎他 (1972) 環境容量計量化調査研究報告書. 環境文化研究所、162pp.
- 田中努監訳 (1980) 西暦2000年の地球. 日本生産性本部、194pp.
- USBM & USGS (1976) Principles of the mineral resources-classification system of the U. S. Mines and U. S. Geological Survey. Geological Survey Bull., 1450-A.
- Vertinsky, I. (1987) An ecological model of resilient decision making. Ecol. Modelling, Vol. 38, 141-158.
- Walker, B. H. & Norton, G. A. (1982) Applied ecology: Towards a positive approach. J. Environ. Manage. Vol. 14, 325-342.
- ワット (1975) 環境科学 理論と実際. 東海大学出版会、305pp.
- 全米科学アカデミー (1969) 資源と人間.
- Zucchetto, J. & Jansson, A. (1985) Resources and Society. Springer-Verlag, 246pp.