

## 合理的選択としての非持続的資源利用とその処方箋

赤尾 健一  
早稲田大学社会科学部  
Waseda University, Tokyo 169-8050,  
Japan  
[akao@waseda.jp](mailto:akao@waseda.jp)

Y. Hossein Farzin  
Department of Agricultural and Resource  
Economics  
University of California, Davis, CA 95616,  
U.S.A.  
[farzin@primal.ucdavis.edu](mailto:farzin@primal.ucdavis.edu)

November, 2006

### 要約

経済主体や政府の合理的選択の結果、資源枯渇が生じることがある。それは、持続可能な資源利用が可能であり、また、資源の利用者が十分な生態学的知識を持ち、さらに将来起きることを十分に予見できるとしてでもある。この研究では、非持続的資源利用が最適計画となる条件を明らかにする。それは、将来の便益を割り引く割引率、社会制度や生態系の不安定さ、自然成長関数の非凸性、雇用の社会的心理的価値、そして資源利用者間の戦略的依存関係の存在に関係する。これらの条件を明らかにすることは、持続的資源利用を実現するための政策をデザインする上で、有用な情報を提供する。

### Abstract.

Exhaustion of a natural resource stock may be a rational choice for an individual and/or a community, even if a sustainable use for the resource is feasible and the resource users are farsighted and well informed on the ecosystem. We identify conditions under which it is optimal not to sustain resource use. These conditions concern the discounting of future benefits, instability of social system or ecosystem, nonconvexity of natural growth function, socio-psychological value of employment, and strategic interaction among resource users. The identification of these conditions can help design policies to prevent unsustainable patterns of resource use.

### 1. はじめに

- 持続可能性の概念にはさまざまな定義がある。しかし、天然資源を有限時間のうち枯渇させることは、いかなる定義でも非持続的とみなされる。
- この研究では、合理的経済主体を想定し、その最適資源利用が有限時間枯渇になる条件を明らかにする。
- 合理性を仮定することは重要である。有限時間枯渇が最適となる条件を変えることで、まさにその合理性によって、資源の非持続的利用が回避されることが期待できる。

(2～5は後述)

### 6. 政策上の含意

2～5の分析から得られる政策上の含意は次のとおり。

- 天然資源経営の持続に関する不確実性は、割引率の上昇と同じ効果をもち、将来の便益の現在価値を低める。このため、資源の有限時間枯渇が最適政策となる可能性がある。生態系のレジームシフトを引き起こす環境破壊、資源の所有権や利用権を脅かす独裁のような非民主的政治システムや政情不安は、そうした不確実性を高める。逆に、持続的資源経営の実現のためには、そのような不安定要因を取り除くことが重要である。
- 資源の自然成長関数の形状に注意が必要である。それが凸-凹の形状(非凸性)をもつ場合、凹関数の場合には存在しない臨界的資源ストックがあつて、初期資源ストックがそれより小さいと、最適政策は資源ストックをゼロまで減少させることになる。その結果、次のようなことが起こりうる。(1) 誤った資源利用のために資源ストックが減少してしまった状態では、仮に最適資源政策がとられても、非持続的な有限資源枯渇が最適計画となる。(2) 元の割引率や不確実性の大きさに関わらず、わずかな不確実性の増大で、最適資源政策が、持続的なものから非持続的なものに変化する。
- 雇用は単に所得を得るためのものだけではなく、個人が社会と関わりをもつ主要な機会である。この雇用の社会的心理的側面が重要な価値をもつ社会では、完全雇用が社会の目的として優先される可能性がある。そして、完全雇用が資源の再生能力を超える資源採取を引き起こすならば、その最適資源政策は資源の最速枯渇である。Farzin and Akao (2005)が明らかにしているように、この状況を持続可能なものに変えるために、所得支援は有効ではない。また、近代的資源採取技術の導入は資源枯渇をいっそう加速する。有効な処方箋は、資源採取以外の雇用機会を創造することである。さらに雇用機会創出が有効に機能するには、新たな就業の場で得られる賃金水準が一定のレベル以上であることが求められる。資源枯渇が進むと、このレベルは上昇する。したがって、対策が遅れると、そうした社会を持続的資源利用に向かわせることはより難しくなる。
- もし資源が複数の利用者によって自由に利用できるのであれば、つまり共有資源 (common property resource) の場合、利用者間の戦略的依存関係のために、最速枯渇戦略が利用者の最適戦略となる可能性がある。これは、有名なギャレット・ハーディン (Garrett Hardin, 1968) の「共有地の悲劇」の状況である。「共有地の悲劇」は、必ずしも不可避の運命ではないものの、すべての共有資源が「悲劇」に見舞われる可能性をもっている。有望な処方箋の一つは、私有化 (privatization) である。しかし、Dasgupta and Mäer (1997) が実例を挙げて警告しているように、不平等な社会での私有化は、貧しい人々をいっそう貧しくする。その結果、残された共有資源からの資源収奪をいっそう激化させる可能性がある。共有資源に環境政策の標準的な経済手段を適用する場合、Akao (2001, 2004) が示すように、取引可能な許可証は持続可能な(社会的最適)資源利用を実現できる可能性がある。一方、税は、最速枯渇のような非持続的な均衡経路を必ずしも排除できない。そのため、税によって望ましい資源利用が実現できる保証はない。さらに言えば、以前よりも望ましくない資源利用が選ばれる可能性すらある。

(2～5の分析結果の要約)

## 2. 割引と不確実性

● 基本モデル 
$$\max_{c(t) \geq 0} \int_0^{\infty} u(c(t))e^{-\rho t} dt \quad (1.a)$$

subject to 
$$\dot{x}(t) = f(x(t)) - c(t), \quad (1.b)$$

$$x(t), c(t) \geq 0, x(0) = x_0 \text{ given.} \quad (1.c)$$

ここで  $x$  は再生可能資源ストックを表し、 $f(x)$  はその自然成長関数である。 $c(t)$  は時点  $t$  の収穫 = 消費を示す。よって、資源ストックの経路は、微分方程式(1.b)(状態方程式と呼ばれる)に従う。ただし  $\dot{x}(t)$  は  $x(t)$  の時間導関数。収穫物の消費から得られる資源利用者の(瞬間的)効用は、効用関数  $u(c)$  で表される。 $\rho$  は、将来の効用を現在価値に割り引く割引率である。

- 仮定:  $f$  は原点を通り、狭義凹かつ単峰形。 $u$  は下に有界、狭義増加、狭義凹。さらに  $f'(0) = r < \infty$  and  $u'(0) < \infty$ 。(図1参照)

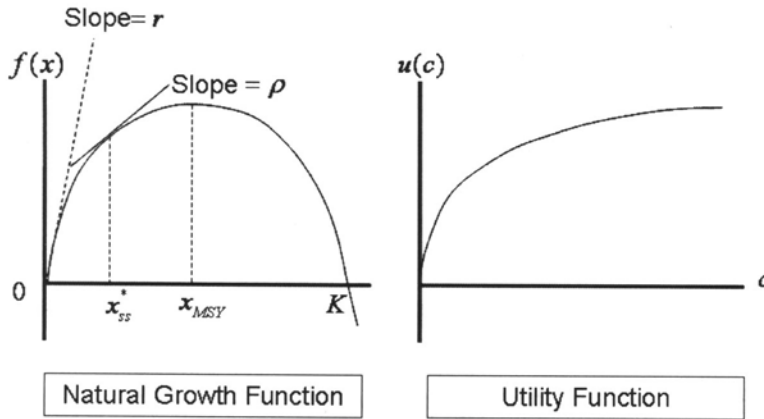


図1 自然成長関数と効用関数.

**命題 1:** 基本モデル(1)について、もし割引率が内的自然増加率より高ければ ( $\rho > r$ )、初期の資源ストックの量にかかわらず、有限時間枯渇が最適資源計画となる。

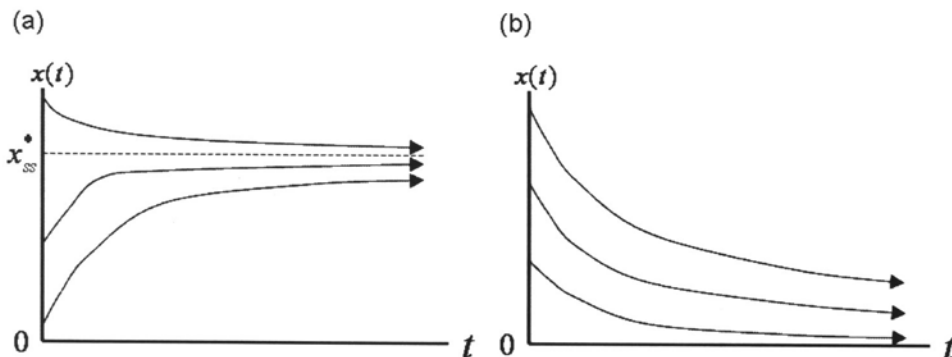


図2 最適資源計画.

もし内的自然増加率が時間選好率より高ければ ( $r > \rho$ )、一意的な内点最適定常状態 (OSS)  $x_{SS}^* > 0$  が存在して、任意のストックレベルから始まるあらゆる最適計画はそれに収束する (パネル(a))。もし  $r \leq \rho$  ならば、最

適計画は最終的に資源を枯渇させることになる。特に  $r < \rho$  ならば、最適資源枯渇は有限時間内で生じる。

**命題 1 の系:** 生態系の変化によって資源が収穫できなくなる可能性、あるいは社会的政治的環境が不安定で資源を収穫する権利を剥奪される恐れがあるとする。そうしたことが生じる確率は、基本モデル(1)の割引率  $\rho$  の値を高める。したがって、生態学的あるいは社会的政治的カストロフの恐れが、資源利用者をして、資源の有限時間枯渇に向かわせる可能性がある。

### 3. 自然成長関数の非凸性

- 自然成長関数が、資源ストックが小さいときは凸関数となるケース（近交弱勢やアリー型の密度効果等）。

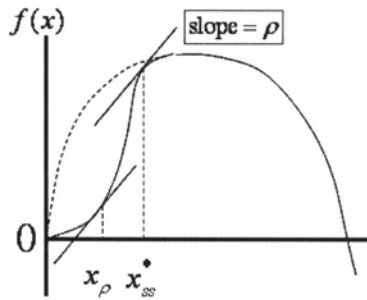


図3 凸一凹自然成長関数

**命題 2:** 自然成長関数が凸一凹ならば、割引率が十分に高くなくても ( $r > \rho$ )、

$$\rho < \max[f(x)/x | x \geq 0]$$

を満たすならば、そして、計画時点での資源ストックが小さいならば、有限資源枯渇が最適資源政策となる。すなわち、臨界的資源ストックレベル  $x_c \in (0, \infty]$  が存在して、もし  $x_0 < (>)x_c$  ならば、最適資源政策は単調に  $0 (x^{\rho})$  に収束する。この臨界値は、割引率が上の不等式を満たすとき、

$x_c < x_{ss}^*$  である。

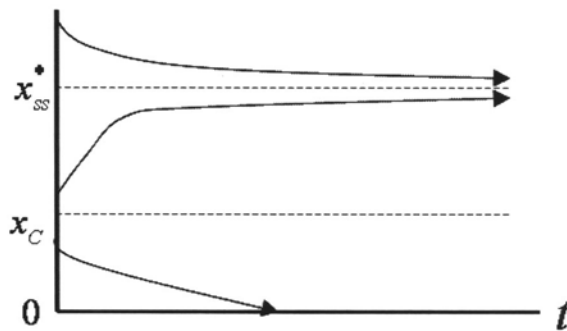


図4 自然成長関数が凸一凹の場合の最適資源経路。

自然成長関数が凸-凹の場合、臨界的な資源ストックレベル  $x_C$  が存在する。もし、初期資源ストックが臨界的な資源ストックよりも高ければ、最適経路は内点定常状態に収束する。つまり持続可能な経営は最適資源政策である。しかし、初期資源ストックが臨界的な水準よりも小さいならば、有限時間のうちに最適資源ストックはゼロになる。その最適資源政策は非持続的である。

#### 4. 雇用の非金銭的価値：社会的心理的側面

- 働くことは、単に所得を得ることを意味するのではなく、社会と関わりをもつ主要な機会である。それゆえ失業は、アイデンティティや自信の喪失等、金銭的損失以上の効用損失をもたらす。
- 天然資源に依存し、天然資源採取が主要な仕事になっている経済を想定する。人々は、消費とともに働くことから効用を得る：

$$u(c, E), E \in [0, \bar{E}], E = \text{working time. } \partial u / \partial E > 0, \partial^2 u / \partial E^2 < 0.$$

- 完全雇用状態  $E = \bar{E}$  での収穫量は、最大持続収穫量を超えると仮定する。つまり、完全雇用の持続は資源の有限時間枯渇をもたらす。

[注意] 以上の想定でも、完全雇用状態が経済にとって最適資源計画になるとは限らない。資源が枯渇してしまえば、全員が失業してしまうからである。が、つぎの結果が得られる。

**命題 3:**  $E(c)$  を収穫量  $c$  を実現するために必要な雇用量とする。もし  $d^2 u[c, E(c)] / dc^2 > 0$  ならば、完全雇用は、割引率の水準と初期資源ストックの水準に関わらず、常に最適政策である。すなわち、有限期間枯渇が最適資源政策となる。さらにそれは、最速枯渇政策である。

#### 5. 戦略的依存関係

- これまでの想定は、資源を一個人や一政府が管理しているというものだった。それに対して、ここでは多数の、しかし固定された数の利用者が自由に資源を利用できる状況を想定する。<sup>3</sup>
- $n$  人 ( $\geq 2$ ) からなる各利用者は同質で、各時点での最大収穫能力は  $\bar{h} (= \bar{H} / n) > 0$ 。この収穫能力は十分に高く、全員が  $\bar{h}$  で収穫すると、資源は有限時間で枯渇するとする。
- モデルは次のように修正される (対称戦略を仮定した微分ゲーム)

$$\max_{c(t) \geq 0} \int_0^{\infty} u(c(t)) e^{-\rho t} dt \quad (8.a)$$

$$\text{subject to } \dot{x}(t) = f(x(t)) - (n-1)\sigma(x) - c(t), \quad (8.b)$$

$$c(t) \in [0, \bar{h}], x(0) = x_0 \text{ given.} \quad (8.c)$$

ただし  $\sigma(x)$  は、他の利用者の共通の収穫戦略であり、ここでは資源ストックの量に応じて収穫量が決ま

<sup>3</sup> 人数が固定されない状況の分析 (open access resource problem) は、割引率が無限大の分析と一致する (Beddington *et al.* 1975)。よって、ここでは省略する。

ることを想定している。

- このような戦略の一例は、次の最速枯渇戦略である。

$$\sigma(x) = \begin{cases} \bar{h} & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \end{cases}, \quad (9)$$

- (非協力)ゲーム理論では、合理的経済主体は次のような戦略を選ぶと考える:他のプレーヤーが  $\sigma(x)$  を選ぶとき、自分にとっての最適戦略もまた  $\sigma(x)$  になる。この状態はナッシュ均衡と呼ばれる。ナッシュ均衡を構成しない戦略は、誰かにとって最適ではないから、その誰かは違う戦略をとる。その結果、他のプレーヤーも戦略を見直すことになる。そうした見直しの必要のない状態、見直しの行き着く先の状態として、合理的経済主体はナッシュ均衡をプレーすると考える。
- 割引率が大きい場合、有限時間枯渇が最適になることはすでにみたので、ここではそうでないケースを想定し、 $f'(0) > \rho$  を仮定する。次の仮定は、技術的なものだが、経済学の標準的な仮定の範囲に含まれる。

$$n\bar{h} > f(x_{MSY}), (n-1)\bar{h} > f(x^{\rho}), \beta(c) = \frac{-cu''(c)}{u'(c)} \leq \frac{n-1}{n}, \beta(0) > 0.$$

次の結果は、Sorger (1998)による。

**命題 4:** (a) 最速枯渇戦略(9) は次の条件の下でナッシュ均衡を構成する。

$$u'(\bar{h}) \geq \frac{u(\bar{h})}{n\bar{h} - f(x_{ss}^*)} \exp\left[-\rho \int_0^{x_{ss}^*} \frac{dy}{n\bar{h} - f(y)}\right]. \quad (10)$$

(b) もし  $f(x_{ss}^*) > nf'(x_{ss}^*)x_{ss}^*$  ならば、持続的な資源利用をもたらすナッシュ均衡戦略 (Sorger's strategy と呼ぶことにする) が無数に存在する。

[注意] (a)、(b)は一定の条件の下で、ともに起こりうる。そして、非持続的、持続的資源利用のどちらが起こるかを予想できる理論は現在のところない。理論上は次のようなことが起こりうる。

- ① まったく同じ条件にある二つの経済 (ともに共有資源に依存している) が、一方は持続的な資源利用を行い、もう一方は破滅的な資源利用を行っている。
- ② 以前は持続的な資源利用を行っていた経済が、何の外生的な要因なしに、突然、破滅的な資源利用を始める。

言えることは、共有資源あるいは共有地の資源利用は不決定で不安定であるということである。数値例として、次の図を参照。

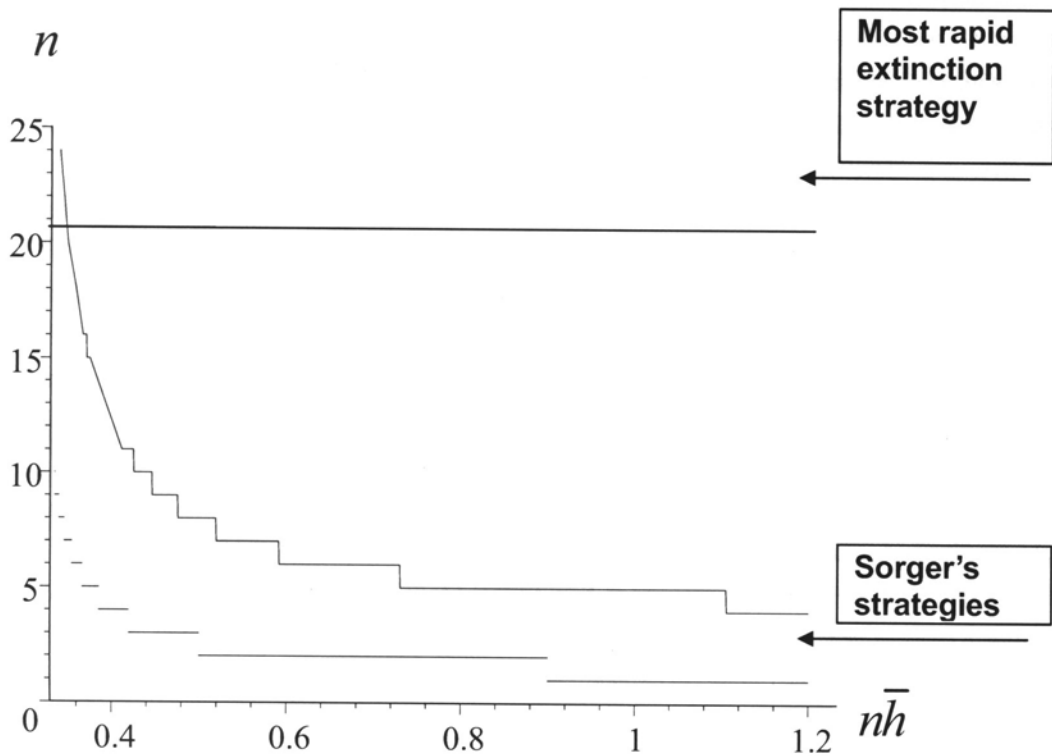


図5 持続的・非持続的資源政策の共存.

最大集計収穫量  $\bar{nh}$  と資源利用者数  $n$  に依存して、各戦略はそれぞれのナッシュ均衡を構成する。オーバーラップしたパラメターの範囲で、これら二つのナッシュ均衡は共存する。共存は、共有資源 (common property resource) に関して、その資源利用の不決定性と不安定性を示唆する。数値例は次の関数型とパラメター値を採用している。  $u(c) = c^{0.3}$ ,  $\rho = 0.03$ ,  $f(x) = 1.2x(1-x)$ .

#### References

- [1] Akao, K. (2004) Tax schemes in a class of differential games, mimeo.
- [2] Akao, K. (2001) Some results for resource games, *Institute for Research in Contemporary Political and Economic Affairs (Waseda University) WP 2009*.
- [3] Akao, K. and Y.H. Farzin (2006) When is it optimal to exhaust a resource in a finite time? FEEM WP 23.
- [4] Beddington, J.R., C.M.K. Watts and W.D.C. Wright (1975) Optimal cropping of self-reproducible natural resources, *Econometrica* **43**, 789-802.
- [5] Berck, P. (1979) Open access and extinction, *Econometrica* **47**, 877-882.
- [6] Carlowitz, H.C. von (1713) *Sylvicultura oeconomica, oder, Hausswirthliche Nachricht und naturmassige Anweisung. zur wilden Baumzucht*.
- [7] Clark, C.W. (1976) *Mathematical Bioeconomics: The Optimal Management of Renewable Resources*. J. Wiley, New York.
- [8] Dasgupta, P. and G. Heal (1974) The optimal depletion of exhaustible resources. *Review of Economic Studies*. Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 3-28.
- [9] Dasgupta, P. and K. -G. Mäler (1997) The resource-basis of production and consumption: an economic

- analysis, in Dasgupta, P. and K. -G. Mäler (eds.) *The Environment and Emerging Development Issues*, vol.1, 1-32, Clarendon Press.
- [10] Dechert, D. and K. Nishimura (1983) A complete characterization of optimal growth paths in an aggregate model with a nonconvex production function. *Journal of Economic Theory* **31**, 332-354.
- [11] Deissenberg, C., G. Feichtinger, W. Semmler and F. Wirl (2001) History dependence and global dynamics in models with multiple equilibria, *Center for Empirical Macroeconomics Working Paper* **12**.
- [12] Farzin, Y.H. (2004) Is an exhaustible resource economy sustainable? *Review of Development Economics* **8**, 33-46.
- [13] Farzin, Y.H. and K. Akao (2004) Non-pecuniary Value of Employment and Individual Labor Supply. *Fondazione Eni Enrico Mattei WP* **158.04**.
- [14] Farzin, Y.H. and K. Akao (2005) Non-Pecuniary Value of Employment and Natural Resource Extinction. *SSRN eLibrary* <http://ssrn.com/abstract=854585>.
- [15] Hardin, G. (1968) The tragedy of commons. *Science* **162**, 1243-1247.
- [16] Hartl, R. F. (1987) A simple proof of the monotonicity of the state trajectories in autonomous control problems. *Journal of Economic Theory* **41**, 211-215.
- [17] Hartl, R.F., P.M. Kort, G. Feichtinger, and F. Wirl (2004) Multiple equilibria and threshold due to relative investment costs. *Journal of Optimization Theory and Applications* **123**, 49-82.
- [18] Heal, G. (1998), *Valuing the Future: Economic Theory and Sustainability*, Columbia University Press, New York.
- [19] Levhari, D. and N. Liviatan (1972) On stability in the saddle-point sense, *Journal of Economic Theory* **4**, 88-93.
- [20] Magill, M.J.P. (1981) Infinite horizon programs. *Econometrica* **49**, 679-712.
- [21] Nordhaus, W. D. (1994) Reflecting on the concept of sustainable economic growth, in Pasinetti, L. L. and R. M. Solow (eds.) *Economic Growth and the Structure of Long-Term Development*, 309-325, Macmillan/St.Martin's Press.
- [22] Pearce, D., E. B. Barbier and A. Markandya (1990) *Sustainable Development: Economics and Environment in the Third World*. Edward Elgar.
- [23] Ramsey, F.P. (1928) A mathematical theory of saving. *Economic Journal* **38**, 543-559.
- [24] Skiba, A.K. (1978) Optimal growth with a convex-concave production function. *Econometrica* **46**, 527-539.
- [25] Solow, R.M. (1998) *An Almost Practical Step Toward Sustainability*, Resources for the Future.
- [26] Sorger, G. (1998) Markov-perfect Nash equilibria in a class of resources games. *Economic Theory* **11**, 78-100.
- [27] Spence, M. and D. Starrett (1975) Most rapid approach paths in accumulation problems. *International Economic Review* **16**, 388-403.
- [28] Tsur, Y. and A. Zemel (2006) Welfare measurement under threats of environmental catastrophes. *Journal of Environmental Economics and Management* **52**, 421-429.
- [29] Turner, R.K., D. Pearce and I. Bateman. (1994) *Environmental Economics : An Elementary Introduction*, Harvester Wheatsheaf.
- [30] Vanclay, J.K. (1996) Estimating Sustainable Timber Production from Tropical Forests. *Center for International Forestry Research Working Paper* **11**.
- [31] World Commission on Environment and Development (1987) *Our common future*, Oxford University Press, 1987.