

話題 76 自然環境資源を劣化させ、鉱物資源、化石エネルギーを枯渇するまで使い続けるのか

中道 宏、大串 和紀

要旨

資源には大略、循環する資源と循環しない資源があり、いずれも遍在し、またその利用量は地球の環境容量をオーバーしている。前者は保全することによりその恵みを増強・持続させることができるが、後者はいずれ枯渇するので、回収して再利用する仕組みを開発することがこれからより重要である。また CO₂ を排出する化石エネルギーについては枯渇するまで使い続けるのではなく、これを見捨て新たなエネルギー対策を講じなければならない。

目次

1. 循環する資源と循環しない資源
2. 資源は遍在する
3. 地球も日本もオーバーシュートしている
4. 自然環境資源を保全し、自然の恵みを増強する
5. 鉱物資源、化石エネルギー資源は枯渇するまで使い続けるのか

キーワード

循環する資源と循環しない資源、自然環境資源、自然の恵み、資源が文明を規定する、資源は遍在する、バイオ・キャパシティ、エコロジカル・フットプリント、オーバーシュート、開水面、開土面、ピークリン、オイルピーク、石油に見捨てられる前に石油を見捨てる

1. 循環する資源と循環しない資源

・資源

広島大学地球資源論研究室¹⁾に倣い、資源と呼ばれるものをおおまかに列挙する。

人的資源

環境資源

国土面積

自然環境—気候、土地能力、大気、水、土壌、生物、地盤

社会環境

エネルギー・物質資源

エネルギー資源—化石燃料、核燃料、自然エネルギー

鉱物資源—金属、非金属

生物資源—食料、森林、水産

水資源

本話題では資源を、地球の循環の場を形成する資源(自然環境資源)およびその循環によりもたらされる資源(自然の恵み)と、地球の地下から取り出される鉱物資源と化石エネルギー資源の2つのグループに分けて議論する。

・地球の循環の場を形成する資源(自然環境資源)およびその循環によりもたらされる資源(自然の恵み)

地球の循環の場を形成する資源(自然環境資源)が人的資源、国土面積、自然環境、社会環境であり、その循環によりもたらされる資源(自然の恵み)が生物資源、水資源である。後者は前者の量と質に支配される。なお重要な資源である水資源についてはここでは触れない。

植物は太陽光を受け無機物から有機物を造り、動物がこれを摂取し、その廃棄物や遺体は土中に戻り、土中の微生物に分解され、再び無機物となる。植物、動物、微生物という生命の働きにより、物質は有機物から無機物、そして再び有機物へ循環する。この地球の自ずと然(な)る仕組みである循環は地球の表面にある開水面、開土面を通じて行われ、地球に多様な生きものと生態系を形成し、自然の恵みをもたらす。

人類は約1万年前に、多くの植物から栽培作物を、また多くの動物から家畜を選び、²⁾ 循環の場に人工物を巧みに組み込み、これを保全する社会の仕組みを創り、循環機能を促進し、自然の恵みをより多く得ることにより文明を興した。一方、自然の恵みを過度に収奪し、あるいは循環の仕組みを保全することに失敗した文明は滅亡した。

・循環しない、循環させ難い資源

鉱物資源と化石エネルギーがこれである。

文明の時代区分に、古くはその時代に利用された道具の鉱物資源名(石器、青銅器、鉄)が付されている。また文明は、古くは木材、木炭、産業革命後は石炭、近年では石油・原子力・天然ガス、それにシェールガスのように順次資源性の高いエネルギーを発見し発展してきた。このように利用する資源により文明は規定されてきた。将来においては「宇宙で発電した電力をマイクロ波に変換して地上に送信する技術が実用化する」³⁾ という楽観論もないではない。

石油、石炭、天然ガス等の化石エネルギーは、太古のバイオマスに由来するが、これは短い時間においては循環するものではないので、現世代においては利用されることにより枯渇する。またその廃棄物は、地球の循環が吸収浄化するには限度があることから、地球に蓄積され、環境を悪化させることになる。なお鉱物資源は利用後再利用されるものが多いが、再利用するためには新たにエネルギーが必要となり、環境に負荷を与えることには変わらない。

いま人類は循環しない資源の時代にいる。

1) http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/Rres_C_Z1.html

2) J. ダイモンド「銃・病原菌・鉄 上」草思社 2000年

3) G. フリードマン「100年予測」早川書房 2009

2. 資源は遍在する

・自然環境資源およびは自然の恵みは遍在する

日本は人口に比して国土面積が小さいが、自然環境資源に恵まれ、また自然の恵みを受けやすくするための社会環境として「水土の知」が形成されてきた。一方、人口に比して国土面積は大きい、自然環境資源に恵まれない国もある。

WWF が提唱しているバイオ・キャパシティ(Bio-Capacity、BC、環境収容力)はこれを総合化する指標の1つと言えよう。

・バイオ・キャパシティ

地球が、国が、または地域が提供できる再生可能な資源生産量と廃棄物吸収量をグローバルヘクタール (gha) という単位で指標化している。またバイオ・キャパシティの対極として人類が自然環境に負荷を与え、自然の恵みを消費している指標としてエコロジカル・フットプリント(Ecological footprint,EF)がある。

これらは次のように計算される¹⁾。特に地目に注目して欲しい。

・生命圏が生み出すバイオマス再生可能資源の消費量を農地・牧草地・森林地・海洋淡水域面積として計上する。(下表の①、②、③、及び⑥)

・化石燃料消費については、「CO₂ 吸収地」面積、または、「バイオマス代替燃料生産地」面積として計上する(下表の④)。金属資源については、その精練・加工のためのエネルギー(化石燃料)消費として間接的に計上する。(下表の④)

・バイオマス資源生産能力の疎外となっている土地面積も加える(下表の⑤)。水力発電のための貯水区域面積は、本来このカテゴリーではあるが、④の「エネルギー地」に加算する

① 「農地」(食料、飼料、タバコ、イグサ、綿花などの生産のために必要とされる土地)
② 「牧草地」(牧草、羊毛などの生産のために必要とされる土地)
③ 「森林地」(家具、建材や紙製品などの生産のために必要とされる土地)
④ 「エネルギー地」 = 「CO ₂ 吸収地」(化石燃料燃焼からの CO ₂ を吸収するための森林地)、または、「バイオマス代替燃料生産地」+水力発電のための「貯水区域面積」。原子力発電については化石燃料に代替して発電した場合の CO ₂ 吸収地として計算する。
⑤ 「生産能力阻害地」(道路・建物・廃棄物処分場、金属資源採掘現場など生産化農地の生産を阻害している土地)
⑥ 「海洋・淡水域」(魚や海藻を生み出す海洋河川湖沼等の水域)

さらに、以下の注意が必要である。

・域内での「純消費」に係わる土地水域面積を計算。国(地域)外で生産されたモノでも、貿易を通して輸(移)入され域内で消費されたモノについては、その国(地域)の責任としてその土地水域面積を加算する(バーチャル・ランド、バーチャル・オーシャン)。逆に域内で生産されたモノでも輸(移)出され、

域外で消費されたモノの生産に係わった土地水域面積は除外する。

・食物連鎖の上位に位置する生物種の消費に関する EF は、第1次生産者（Primary Producers＝緑色植物や植物プランクトンなど）の生産量に換算して面積を算出する。例えば、肉類・酪農製品の消費については、牛舎の面積だけでなく、穀物や牧草などの飼料生産のための農地・牧草地も計上する。漁業資源についても、魚種の栄養段階を考慮し、魚介類の消費量を植物プランクトンの生産量に還元して算出する。

バイオ・キャパシティは世界1人当たり 1.8gha(2006年)であり、その土地面積の割合は、

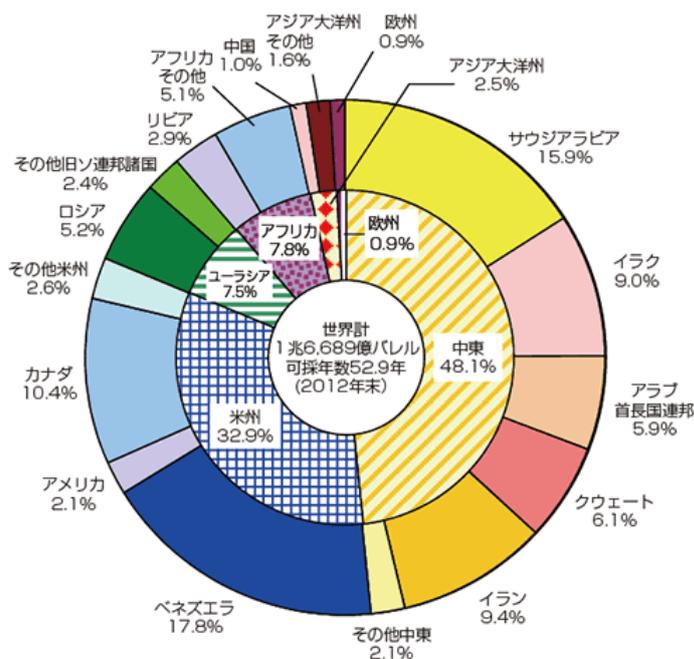
土地生産性の高い土地面積	18%
生物生産性の高い海面積	4%
生物生産性の低い海面積	67%
砂漠、氷河、不毛地	11%

である。²⁾

・鉱物資源・化石エネルギー資源はさらに偏在する

いくつか例を挙げる。

下図に見るように石油の確認埋蔵量の 64%はベネズエラ、サウジアラビア、イラン、イラク、クウェート、アラブ首長国連合の 6 か国に偏在している。³⁾ OECD 加盟国は、きわめて少ない。



食料生産に不可欠な化学合成肥料の窒素、リン、カリウムの素となるのはそれぞれ原油・天然ガス、リン鉱石、カリ鉱石であるが、後 2 者はさらに偏在し、リン鉱石は中国、モロッコ、米国、南アフリカの 4 ヶ国で 83%、カリ鉱石はカナダ、ロシア、ベルラーシ、ドイツの 4 ヶ国で 93% (現在のコスト水準、技術レベルで採掘が可能な量である経済埋蔵量ベースである。4)

1) Science on Sustainability 2006 A View from Japan

2) Japan Ecological Footprint Report 2009

3) 資源エネルギー白書 2015

4) 農林水産省「肥料原料の安定確保に関する論点整理」参考資料 平成 22 年 2 月

3. 地球も日本もオーバーシュートしている

・オーバーシュート

エコロジカル・フットプリントが当該地域のバイオ・キャパシティを超過した状態をオーバーシュートと呼ぶ。このような状態は一時的には可能であるが、永続的・持続的ではない。2008年においては、世界一人当たりバイオ・キャパシティ BC が 1.8、エコロジカル・フットプリント EF が 2.6 とすでにオーバーシュートしており、人類はすでに地球 1.5 個分の生活をしていることになる。

なぜか近年の国別バイオ・キャパシティを見つけることはできなかったので、1999 年値の世界と主要国の一人当たりバイオ・キャパシティとエコロジカル・フットプリントを記す。

(()内は 2012 年値²⁾)

	バイオ・キャパシティ	エコロジカル・フットプリント	オーバーシュート係数
	BC	EF	EF/BC
世界	1.9	2.3	1.2
米国	5.3(3.7)	9.7(7.2)	1.8(1.9)
カナダ	14.2(14.9)	8.8(6.5)	0.6(0.44)
オランダ	0.8(0.9)	4.8(6.2)	6.0(6.9)
英国	1.6(1.3)	5.4(4.7)	3.4(3.6)
日本	0.7(0.6)	4.8(4.3)	6.9(7.2)

BC が格別に大きいカナダを除き、各国ともオーバーシュートしており、日本、オランダはきわめて高い。

この EF/BC を小さくするためには EF を小さくすること、BC を劣化（低下）させないことがより重要である。

1) マーティス・ワケナゲル他「エコロジカル・フットプリント」合同出版(株) 2004

2) マーティス・ワケナゲル「環境収容力、グローバリゼーション、そして持続不可能な国家間のエンタングルメント（もつれ合い）」平成 24 年度ブループラネット賞受賞者記念講演会 <http://www.af-info.or.jp/blueplanet/doc/lect/2012lect-j-rees.pdf#search=>

4. 自然環境資源を保全し、自然の恵みを増強する

・人類は自然環境資源を劣化させている

森林や牧草地や農耕地が、自然循環機能が格段に劣る砂漠に変じている。その原因は降水量の変動等自然的要因ではなく、過半が過放牧、過伐採、過開墾、過かんがい等の人為的要因である。¹⁾ また自然循環機能には多様な生物の存在が不可欠であるが、話題 73 で述べたように今大絶滅の危機に瀕している。その原因は

- ①第 1 の危機 人間活動や開発による危機
- ②第 2 の危機 自然に対する働きかけの縮小による危機
- ③第 3 の危機 人間により持ち込まれたものによる危機
- ④第 4 の危機 地球環境の変化による危機

といずれも人為的要因である。

バイオ・キャパシティ算定の 1 項目である「生産能力阻害地」（道路・建物・廃棄物処分場、金属資源採掘現場など生産化農地の生産を阻害している土地）を都市面積で代表させて²⁾ 見ると、世界の、2000 年の都市面積は 11 百万 ha で、耕作地および永年作物地 153 百万 ha の 7.3%に当たり、しかも 1 人当たりの都市面積は 1990 年から 2000 年において先進国平均で年率 2.3%、途上国平均で年率 1.7%拡大している。「生産能力阻害地」には開水面、開土面はほとんどなく、循環が遮断されてしまう。

・自然の恵みを高めることは可能である

「IPCC 第 4 次評価報告書では、「森林分野における気候変動の緩和策は他分野に比べて低コストで、排出削減及び吸収源増加の両方に大きく貢献することが可能である」と述べられている。³⁾ ように増加する人口を養うために農耕地の外延的に拡大することではなく、内縁的拡大ともいえる品種改良、肥培管理、かんがい排水施設の整備がいま求められている。

いずれも自然環境資源の持つ循環機能を向上させ、自然の恵みを享受する仕組みであり、森林、農地に限らず、あらゆる地目において健全に循環が機能するように対応することが重要である。その基本の第一は、開水面、開土面を塞がないことである。

これらにかかる知見は、日本の〈水土の知〉、また話題 38 に見たように世界の〈水土の知〉が育まれており、近年科学技術も相当に進歩した。これが全地球的に実行される仕組みがいかに構築されるかにかかっている。

1) http://www.geocities.jp/soil_water_mitchyll/DesertCause.htm

2) 棟居洋介他「都市の拡大が世界の農地面積に及ぼす長期推計」

http://www.seeps.org/meeting/2009/abst/2023_DLvTzYbb.pdf#search=

3) <http://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rcd/ja/redd/deforestation.html>

5. 鉱物資源、化石エネルギー資源は枯渇するまで使い続けるのか

・資源の量とは？

資源の量の定義は難しく、エネルギーについての1例を挙げる。⁹⁾

「資源量」：地中に埋まっているすべての炭化水素の量

うち

「技術的に回収可能な資源量」

うち

「埋蔵量」：通常の方法で経済的に回収が可能なもの

うち

「確認埋蔵量」：9割方回収可能なもの

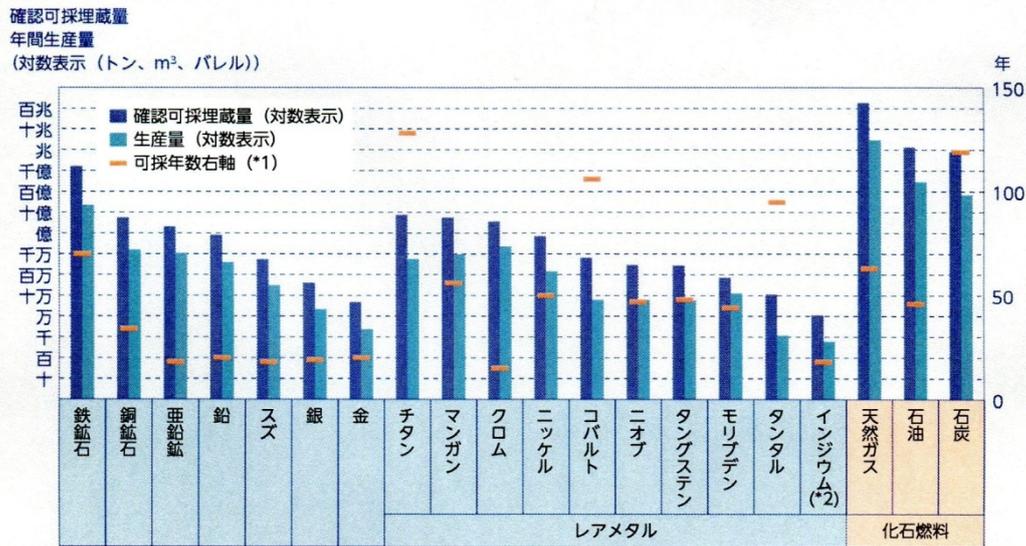
賦存が知られていながら未利用であったシェールガスが、採掘技術が開発され、価格が安くなり、資源となったのは最近のことである。

各種統計表が上記のどの数字を採り、各国・各企業体がどのように報告しているのか、素人には分からない。

・資源の産出はいずれピークを迎え、枯渇する

話題 72 で取り上げた石油、同じく話題 57 のリンと同様に多くの資源は下図に見るように遠からずピークを迎える（生産量が減少し始める）ことは否定できない。

世界の主な地下資源の確認可採埋蔵量・年間生産量（左軸、対数表示）及びその可採年数（右軸）



大項目	レアメタル															化石燃料				
	鉄鉱石	銅鉱石	亜鉛鉱	鉛	スズ	銀	金	チタン	マンガン	クロム	ニッケル	コバルト	ニオブ	タングステン	モリブデン	タンタル	インジウム ^{(*)2}	天然ガス	石油	石炭
可採年数 ^{(*)1}	70	35	18	20	18	19	20	128	56	15	50	106	47	48	44	95	18	63	46	119
可採埋蔵量	160,000	540	200	79,000	5,600	400,000	47,000	730,000	540,000	350	71,000	6,600	2,900	2,800	8,700	110,000	11,000	187,490	1,333	826,000
生産量	2,300	15.8	11	3,900	307	21,400	2,350	5,720	9,600	23	1,430	62	62	58	200	1,160	600	2,990	29	6,940
単位	百万トン	百万トン	百万トン	千トン	千トン	トン	トン	千トン	千トン	百万トン	千トン	千トン	千トン	千トン	千トン	トン	トン	10億m ³	10億バレル	百万トン
品位	酸化物	酸化物	酸化物	純分	酸化物	純分	純分	酸化物	酸化物	純分	純分	純分	純分	純分	純分	純分	純分			

(*)1 可採年数は、確認可採埋蔵量を2009年の生産量で割った値。確認可採埋蔵量や生産量の変動により可採年数は変動する。

(*)2 インジウムの確認可採埋蔵量のみ2007年の数値。

資料：U.S.Geological Survey「MINERAL COMMODITY SUMMARIES 2010」より環境省作成

<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/zu/h23/pdf/1-1.pdf#search=271018>

・ピークリンは必ず到来する

話題 59 で述べられたことであるが、リンはDNA、細胞膜、骨等を含め、すべての生き物に欠かせないもので、人工的に製造できない元素で、石油等と異なり代用品がない。しかし幸いなことに地球上から消えることはない。ピークリンは、1989年説、2030-2040年説があったが、近年モロッコのサハラ砂漠で鉱床が発見され、可採年数が90年となっている。²⁾しかし、これもいずれ必ず枯渇する。

リン鉱石はリンが濃縮された、資源性の高い資源であるが、これが人間に摂取されると排泄され、環境に放出され（エントロピーが増大し）、資源性が極めて低くなる。これが水域に入ると話題 59 で述べられているように環境を汚染する。江戸時代までは人糞、干鰯、家畜糞として農地に還元され、人口35百万人を養っていた。この江戸時代の仕組みに戻ることができるだろうか。話題 38 の2に紹介したように先人はこの必要性を認め、また新しくは下水道の仕組みを変更することが提案されている。³⁾

・オイルピークも必ず来る

オイルピークについては、M.K.ハバートが1956年に米国石油学会で発表して以来、「地質学的な要素のみならず経済や政治的な要素」⁴⁾が絡み多くの議論が展開されているが、埋蔵量の確認、技術水準の進歩等に知見を欠く話題提供者にはシェールガスの開発でオイルピークが少し先送りになった程度しか理解できない。またシェールガスが石油枯渇とCO₂削減問題を救うと期待されているが、省エネ電気製品が開発されて電気使用量が増加すると同様、エネルギー使用量は高まり、CO₂排出量が増加することになるのではないか。

オイルピークについては次のことを理解しておくべきである。

- ①資源は次世代と共有されるべきものである。循環せず、可採年数が小さいものについては特にである。
- ②オイルピークを迎えることが分かった途端、需要と供給のバランスが崩れ、経済社会は大きく混乱することは間違いない。この混乱に比べると極めて小さいが、1973年と1979年に石油危機を経験している。
- ③大気のCO₂濃度はすでに400ppmを越え、危険域に近づいている。このまま化石燃料を使い続けるわけにはいかない。

・石油に見捨てられる前に石油を見捨てる

文明が持続するためには、オイルピークが到来する前にオイルピークを創り出す必要がある。しかし資源輸出が国家財政の基盤となっていることが多い発展途上国で資源の採掘を抑制することはきわめて難しく、また先進国の採掘企業、資源を消費する企業、資本を提供する金融機関等が資源国を支援することも十分に予想され、地政学上も世界に緊張関係をもたらすことになる。

人類は今、IEA Chief EconomistのFatih Birolが2008年に言った「We must leave oil before it leaves us.」を実行に移す時期に来ている。⁵⁾石油を残したまま再生可能エネルギーの時代に移らないといけない。サウジアラビアのヤマニ元石油相も言っている。⁶⁾「石器時代が終わったのは、石が無くなったからではない」(The Stone Age did not end for lack of stone, and the Oil Age will end long before the world runs out of oil.)と。

- 1) 岩瀬昇 日経ビジネスオンライン 2014年10月10日
- 2) 農林水産省「肥料原料の安定確保に関する論点整理」参考資料 平成22年2月
- 3) ポール・ホーケン他「自然資本の経済―「成長の限界」を突破する新産業革命―」日本経済新聞社 2001年
- 4) 木船久雄「ピークオイル論の検討」名古屋学院大学論集者かい科学編第44巻第2号2007
- 5) 環境エネルギー政策研究所松原さんにメールで教えていただく(2011年9月20日)
<http://www.economist.com/node/2155717>
- 6) The end of the Oil Age

<http://www.economist.com/node/2155717>

(平成 27 年 11 月)