

2025年1月22日
エシカル消費により世界の資源消費を地球の限界内に抑制する
山本良一

生物資源（森林や魚など）の場合には年間の資源消費を年間のその生物資源の増殖量にすれば持続可能である。非生物資源（土壌、砂、水、金属など）についてはどうであろうか。特に金属資源は人間の寿命の間に再生することは考えられず地球が有限であることから枯渇性資源と見なされている。枯渇性資源についても持続可能な年間の消費水準というものは定義できるのであろうか。

金属資源についてはリサイクル可能であるから、一次生産をせずリサイクル金属ですべて賄うリサイクル100%が、取りあえずの持続可能な消費水準になるかもしれない。現実には合金も、製品もリサイクル容易設計をされておらず、使用済み製品回収の社会システムも整備されていない。本稿では持続可能な資源消費について論じてみたい。

この15年間で人間活動の影響をその限界内に抑制しなければならない惑星的境界（Planetary Boundaries）が研究されてきた。Katherine Richardsonら（2023）によると

新規人工物質（Novel entities）
気候変動（Climate change）
生物圏の健全性（Biosphere integrity）
陸域システム変化（Land system change）
生物地球化学的フロー（Biogeochemical flows）
淡水の変化（Freshwater change）
の6つの惑星的境界は既に突破されたが、
成層圏オゾン層の欠乏（Stratospheric Ozone depletion）
大気エアロゾル負荷（Atmospheric aerosol loading）
海洋酸性化（Ocean acidification）
の3つの惑星的境界は未だ突破されていないとしている。

9つのうち6つの惑星的境界が突破されているということは世界の資源消費の在り方に問題があることは明らかである。そもそも持続可能な年間資源消費量を決める上で重要な資源消費に関する惑星的境界が明らかにされていないのである。現在の世界の人口増加と産業化の拡大、消費主義の浸透を考えれば、世界の資源消費の抑制は急務である。2023年のサーキュラリティ・ギャップ・レポート（The Circularity Gap Report 2023）に引用されている数値をここで紹介しよう。地球から毎年抽出される資源の量は286億トン（1972 549億トン（2006 896億トン（2016 1,014億トン（2021）と増加し、2050年には1,700 1,840億トンに達すると予想されている。世界経済の循環率は7.2%に止まっているが、これは材料の90%以上が建物や機械などの長期在庫として保管されていることを示している。現在、世界は2050年までにカーボンニュートラルを、2030年までにネイチャー・ポジティブを目指しているが、資源消費の大幅な増加傾向はこれと矛盾してしまうのである。

2024年8月2日に日本では循環型社会形成推進基本計画が閣議決定されているので、そこにはどのように書かれているかを見てみよう。

“国連環境計画国際資源パネル（UNEP-IRP）の「世界資源アウトLOOK 2024」では、世界の天然資源の採取と加工が、地球全体の温室効果ガス排出量の要因の55%以上、陸域の生物多様性の損失と水ストレスの要因の90%以上、粒子状物質による健康影響の最大40%を占めており、これら採取・加工による

気候及び生物多様性への影響は、気候変動を1.5°C未満に抑制し生物多様性の損失を防ぐための目標をはるかに超過していると指摘されている”

UNEP-IRPの報告書では、世界は気候変動、生物多様性の消失、汚染と廃棄物という三重の地球的危機の真っ只中にあり、資源消費から福祉 (Wellbeing) の脱結合 (Decoupling)、経済活動から資源消費の脱結合が重要だと述べられている。さらに高所得国は低所得国に比べて、1人あたり6倍の物質を使用し、10倍の気候への影響を及ぼしているとも指摘されている。高所得国は資源消費を削減するために産業の在り方、ライフスタイルの在り方を見直さなければならぬと指摘されている。実は30年以上前からこのような議論はなされてきた。復習のためにCSCP WBCSDによるライフスタイルのマテリアル・フットプリントについての説明をここで紹介しよう。

ライフスタイルのマテリアル・フットプリント

ここでは生物資源、非生物資源、農業等による土壌の浸食を考える。Friedrich Schmidt-Bleek (1993) は単位サービスあたりの物質投入量を評価し、これをMIPS (Material Input Per unit of Service) と名付け、MIPSの大幅な削減を提唱した。Schmidt-Bleekは筆者の友人であり、ファクター10クラブのリーダーであるが残念ながら2019年に逝去してしまった。彼は世界の資源消費を、環境問題が世界的に顕在化していなかった1970年頃のマテリアルフローに2050年までには戻すべきことを提唱した。後で紹介するようにStefan Bringezu (2009) は2000年のデータを基に、Schmidt-Bleekの提言をもとに公平な持続可能水準のマテリアル・フットプリントを10トン/人・年と計算した。これは1人あたり年間10トンの資源消費を意味している。サーキュラリティ・ギャップ・レポート2023のデータでは2000年の世界の資源消費の約半分が1972年の世界資源消費となっている。シンクタンクCSCPは10トン 人・年のうち80%を家庭に、残りの20 (2トン 人・年) を公共部門 (例えば教育、防衛など) に割り当てた。したがって持続可能なライフスタイルのマテリアル・フットプリントは8トン 人・年ということになったのである。CSCP/WBCSDの解説には8トン 人・年の内訳として次のようなデータが示されている (1人年間あたりの量
栄養3トン、住居1.6トン、移動2トン、製品0.5トン、その他0.9トンである。これはMichael Lettenmeierら (2014) が「8トンのマテリアル・フットプリント、フィンランドの家庭消費に対する資源消費の上限の提案」の論文で提案した値と同じである。

なぜより多くの材料を使用するのか

今更述べる必要もないのであるが、人類はなぜ大量の資源を消費しているのだろうか。Timothy Gutowskiら (2017) は「なぜより多くの材料を使用するか」という論文でこの問題を議論している。その理由として挙げられているのは、より早い経済成長は工業化によって起こっており、工業化した国では生活水準が向上していることにある。例として日本、韓国、台湾では2世代にわたって年間平均約6%のGDP成長を達成しているが、そのためには鉄鋼とセメントの大量使用があったと分析している。実際、日本は1950 2010年に鉄の生産は10.8%/年で増加し、中国は1970 2010年に鉄の生産は9%/年で増加した。このように工業化による経済成長のために材料の生産と消費に対する強力なインセンティブがあるのである。さらに経済と材料使用量との脱結合の努力は一部先進地域で試みられているが相対的な脱結合に止まっている。Gutowskiらは、人間の物質的財産への執着は、実利目的をはるかに超えるものであるとも述べている。興味深いのはハリリの言葉を引用していることである。“歴史上の

数少ない鉄則の一つは、ぜいたく品は必需品になりがちで、新たな義務を生み出す これから抜け出すには社会的セラピーが必要かも知れない”とも指摘している。

大量廃棄社会に対する科学者の警告

Isabel Marin-Beltranら (2022) は、「毎年、直接総取水量の78%、生産される食料の49%、生産されるエネルギーの31%、採掘される鉱石の85%、非金属鉱物の26%を無駄にしているか、不適切に管理している」と指摘している。解決策として脱成長を挙げ、教育の無料・平等・公平化、公平な税制、都市の無秩序な拡大を遅らせ古い住居を修復する、食品廃棄物を削減し、食糧安全保障を確保する、灌漑システムの改善、手頃な価格のエネルギーを世界中に供給することを提唱している

科学者は「人間行動の危機」を指摘

Joseph Merzら (2023) は人間活動による生態学的オーバーシュートが 世界で見られる無数の症状の根本的原因であると断じ、これを「人間行動の危機」と呼んでいる。その3つの要因、経済成長、マーケティング、出生促進主義が消費、浪費、人口に直接的影響を与えているとしている。そのため生殖、消費、浪費に関する社会的規範の転換を提案している。

歴史的に文明は衰退して崩壊したが、現代文明は急速に崩壊する

カリフォルニア大学教授のCraig Collins (2020) は、歴史的に文明は平均して250年程かかって衰退してから崩壊したが、現代の産業文明は以下の4つの点で過去の文明とは異なり、急速に崩壊する可能性があるとしている。

1. 枯渇性資源である化石燃料に依存している
2. 資本主義の利用
利益を生む生産源が枯渇化するにつれて、かつて自らが作り出した社会的資産を消費することで利益をあげざるを得なくなる。欠乏、危機、災害、紛争から利益を得る。崩壊と破壊が利益の主たる源泉となる
3. 現代産業文明は、人間的、惑星的、生態系破壊的である
4. 人々や地球よりも、権力と富を重視する腐敗したエリート層が支配している

ケンブリッジ大学のLuke Kempらの最近の詳細な研究 (2024) では文明の平均寿命として201年としている（「なぜ社会は時が経つにつれてより脆弱になり、崩壊しやすくなるのか」）。

Louis Delannoyら (2021) の「ピークオイルと低炭素エネルギーへの遷移：正味エネルギーの観点」という論文には人類にとって大変深刻なことが書かれている。それは石油生産に必要なエネルギーが実際に生み出されるエネルギーの15.5%に達しているということである。石油の正味エネルギー供給が低品質石油に移行することによって2050年までに半減すると予想されている。これはグローバルな急速な低炭素エネルギー移行の実現可能性に疑問を投げかけるものである。低炭素エネルギーの開発、移行そのものが石油に依存しているためである。正味エネルギーのピークは2025年に発生するという予想もあり、もし実現すると現代工業文明の転換点になるかも知れない (2025年：文明の転換点、2024年1月22日)。

さてこのような警告や予想される背景には、化石燃料や金属資源などの枯渇化と生産量のピークの到来に対する恐怖がある。人口増加と産業化の拡大がさらにその恐怖を増幅させているのである。化石燃料の枯渇化は本論文の主題で

はないので論じない。しかし化石燃料についてのハバート・ピークモデルが金属にも適用されてピークミネラル（年間生産量が最大値を超える）の議論がされている。

資源枯渇とピークミネラル

T Priorら（2012）は「資源枯渇、鉱物資源のピーク、そして持続可能な資源管理への影響」の論文の中でこの問題を論じている。金属はリサイクル可能だが、陸上の鉱床は人間の時間スケールでは再生不可能であり、その在庫は有限であるためピーク鉱物の恐怖がある。鉱石の品位が高く、浅い鉱山で、単純組成の鉱石で少ない廃棄物の間は低コストで生産できる。しかし次第に品位が低く、深い鉱山となり、複雑組成となり廃棄物が多くなれば生産は高コストとなる。したがって金属の年間生産量を生産年についてプロットすればピークが生ずる。ここでコストには社会的、経済的、環境的コストが含まれる。鉱物資源の生産は、環境と社会の持続可能性の制約によりますます制限されるようになる。金属資源のガバナンスには、一次鉱物生産、リサイクル、脱物質化などのダイナミクスを理解し、監視することが重要となる。

Guimar Calvoら（2017）は「非燃料の鉱物資源の最大生産ピークと資源利用可能性の評価：抽出可能な地球資源の影響の分析」と題する論文の中で、ハバート・ピークモデルにより47種の鉱物資源の生産ピークを評価した。その結果、Al Cu Fe Mn Znは21世紀中に生産ピークを迎え Cu Au Pb Ni Agの鉱石の品位は低下傾向にあると結論している。

しかしこのような研究には当然批判がある。Lawrence Meinertら（2016）は「鉱物資源：埋蔵量、生産ピークそして将来」という論文の中で批判を展開している。すなわち多くの研究では埋蔵量を「存在するすべて」と混同しているために、ピーク生産または枯渇が差し迫っていると誤って予測しているというのである。埋蔵量は経済的に定義された量で、資源のサブセットとして定義されている。ピーク生産または枯渇は埋蔵量からは正確にモデル化できないと主張している。例えばCuについては、確認されている資源は、2050年までに必要と予測される量の2倍である。まだ発見されていないCu資源の推定値は、現在確認されている資源の最大40倍であると述べている。John Tilton（2018）は「ハバート・ピークモデルと鉱物枯渇の脅威の評価」でこの問題を議論している。Calvoら（2017）はAuとSbの世界生産量はピークに達しているとしている。しかしAuの価格が上昇すれば生産量は再び上昇するのではないかとの反論もある。Tiltonによれば、ハバート・ピークモデルの3つの重要な前提は、

- a. 資源の可用性が生産動向を形成する
- b. 最終的に回収可能な資源を確実に推定できること
- c. 生産はベル型曲線を迎える

であるが、これらが成立するかどうかには疑問があると指摘している。新しい技術が、枯渇によるコスト増加をどの程度相殺するか知らなければ資源寿命を予測できない。Tiltonは鉱物資源枯渇に関する最も信頼できる予測は議論が続くということであると述べている。

Simon Jowittら（2020）は「再生不可能な金属資源の将来の利用可能性と環境、社会、ガバナンスの紛争が金属生産に与える影響」の論文の中で、約50年以内ではプライマリー・メタルの供給枯渇はないと主張している。これは鉱物探査が進んだ結果である。直接的な埋蔵量の枯渇化よりも、今後数十年間の主な供給リスク要因は環境、社会、ガバナンス要因であると結論している。ところで鉱物資源とエネルギーの間には密接な関係がある。鉱物資源の採掘・生産にはエネルギーが必要だし、エネルギーの生産・供給には鉱物資源が必要だからである。鉱物資源の採掘・生産に化石燃料を使用すれば、温室効果ガス排出

量の制約に伴う生産制約を受けることになる。

材料とエネルギーの関係

Olivier Vidalら (2017) は「金属消費と供給の世界的動向、原材料とエネルギーの繋がり」の論文でこの問題を論じている。歴史的に鉱物資源とエネルギーの消費量は100年にわたって指数関数的に増加してきた。例えば1950年頃より鉄は3%/年、セメントは6%/年、アルミニウムは5%/年、銅は3%/年で生産量が増加している。単に埋蔵量だけの問題ではなく、社会的、経済的、環境的、地理的、技術的、法的、地政学的インパクトについての検討が必要である。

資源消費の目標設定

これについてはEUが先進的取り組みをしているので、先ずEUから見てみよう。ヨーロッパ環境局 (European Environment Agency) は資源の利用と材料という報告書を公表している。それによると、EUのマテリアル・フットプリントは2010年以降比較的安定していて2020年には61億トンである。この消費レベルは持続可能ではなく、世界平均よりも高いと述べている。2021年にはリサイクル材料が使用材料の11.7%となったが、2020年からわずかに1%しかリサイクル率が向上していない。2030年までにEUのリサイクル率を2倍に高めるといふ目標からは程遠い。住宅と食料分野が資源消費のホットスポットになっている。

EUの「惑星的境界内のEUについての白書：EUにおける持続可能な資源マネジメント (2024)」には、2050年の1人あたりのマテリアル・フットプリントの目標値として5トン/人・年が挙げられている。2022年には14.8トン/人・年だった。中間目標として11.8トン/人・年 (2030) 7.4トン/人・年 (2040) が設定している。

グローバルで持続可能な資源消費量についての研究

ドイツ、カッセル大学のStefan Bringezuは2019年にグローバルな持続可能な資源利用のための、科学的かつ知識に基づいた目標について論じている。その中で惑星境界 (Planetary Boundaries) は完全に定まっておらず社会的構成物で、科学者によって定義された望ましい環境状態のターゲットであり、実行からはかけ離れていると指摘している。我々には実施するためのマネジメントのための目標が必要である。その設定にあたってはグローバル資源の倫理的及び法的原理による公平な割り当てがなされなければならない。考慮すべき事項として次の4つの点を挙げている。

1. マテリアル需要の大半はリサイクルによって供給される。
2. エネルギー需要は再生可能エネルギー (太陽光、風力など) によって供給される。
3. 残りの一次的投入と最終排出は安全すなわち低リスクの限界内に留まること。
4. 人為的ストックはダイナミック・フロー平衡に近付いていること (ストックへの正味追加はゼロ)。

2050年のグローバル目標として1トンCO₂_{eq} /人・年、5トン物質消費/人・年を示唆している。温室効果ガスの排出については、CO₂に換算して1人あたり年間1トンとしている。詳細は表1を以下に示す。

表1 Stefan Bringezuによる持続可能な自然資源消費量の提案 (2019)

生物資源	重要セクターの ミクロ・マネジメント	生産と最終の製品消費のマクロ・マネジメント
------	-----------------------	-----------------------

		資源ターゲット	統合したターゲット
農業 林業	持続可能な収穫 スキームへシフト (認証品の増加)	0.20ha/人の耕地、2030 0.16ha/人、2050 0.43m ³ /人の木材、世界、2050 1.3m ³ /人の木材、EU 2050 2トン/人・プライマー、バイオマス、2050	
漁業	それぞれの商品魚種毎の最大漁獲量の尊重	今後決定	

非生物資源	重要セクターの ミクロ・マネジメン ト	生産と最終の製品消費のマクロ・マネジメント	
		資源ターゲット	統合したターゲット
化石燃料	レスポンシブル鉱業 の認証品を増加させ る	焼却を止める 再エネへのシフト カーボンリサイクリングへ のシフト	6~12トン/人・年 2050
金属鉱物		一次抽出需要を最小化 リサイクリングへのシフト	
建設鉱物			
鉱業鉱物			

Ref. Towards Science-and Knowledge- based Targets for Global Sustainable Resource Use, Stefan Brinzeu (2019)

UNEP-IRPは2018年に「都市の重み、将来の都市化に必要な資源」の報告書を公表している。都市や町に住む世界の人口の割合は2015年の54%から2050年までに66%増加すると予想している。都市化に対する新しアプローチがなければ、世界の都市による物質消費は2010年400億トンから2050年までに約900億トンに増加すると予想している。2050年の資源消費に関する以前のモデルでは、持続可能な範囲は1人あたり年間6 8トンと示されていた。状況が変わらない限り1人あたりの年間資源消費は2050年までに8 17トンに増加すると新しいレポートでは計算している。しかし交通、商業ビル、建物の暖房/冷房の3つの分野で資源効率を高める都市は、46 67%の削減を達成できると推定されており、全体として50%の効率向上が可能であると示唆されている。言い換えれば2050年までに440億トンの資源を節約することができる。

Monika Dittrichら (2012) は「世界のグリーン経済、資源利用が開発と環境に与える影響」の報告書の中で、2050年までに世界の年間資源消費量を1992年水準の500億トンに抑制するよう提案している

ヨーロッパのマテリアル・フットプリント削減目標

「持続可能な資源管理に関するEUの法律に賛成」という公開書簡が100を超える組織から公表されている。この法律は、生態学的危機への取組み、真の循環型経済への移行、戦略的自律性の達成、資源の公平性を実現、人権と労働者の権利の尊重、社会の幸福と公平性に向けて、世界の平和と安全の促進の見地から誰にとってもメリットがあると述べている。

EUは2024年2月5日に惑星境界内のEUのための白書「EUにおける持続可能な資源管理」を公表した。その中でEUのマテリアル・フットプリント (化石燃料、バイオマス、金属、鉱物の消費量、輸入品に含まれるものを含めて) は、現在国民1人あたり年間14.8トンという数値に達しており、持続可能で公正と見なされる基準値の2倍以上となっていると述べている。持続可能な資源管理に関するEU法は指令とターゲット及びギャップからなっている。この指令は持続可能なレベルの資源消費を達成するという法的目標を設定するものである。目標には、EUのマテリアル・フットプリント (Eurostatが測定する原材料消費量

)を2050年までに1人あたり5トン(2022年の1人あたり14.8トンに比べて66%削減)に削減することを盛り込み、中期的な削減目標を設定している。この値は2050年の世界人口100億人、世界規模での材料使用量に関する年間500億トンに基づいて算出されている。中期目標としては、2025年～2030年に0.59トン/人・年、2030年～2040年に0.44トン/人・年、2040年～2050年に0.24トン/人・年の削減を目指し、2025年から開始するとしている。EUの加盟国では既に先進的な取り組みが始まっている。

オーストラリアは、2050年までに国民1人あたりのマテリアル・フットプリントを80%削減し、7トン/人・年にすることを約束した。オランダは2030年までに一次生産資源(鉱物、金属、化石燃料)の使用量を50%削減することを目標にしている。フィンランドは国内の一次原材料の総消費量を安定させ、2035年には2015年の水準を超えないようにする目標を設定した。フランダース(ベルギー)はマテリアル・フットプリントを2030年に30 2050年に75%削減することを約束した。

ドイツ製の循環(Circularity Made in Germany)というドイツ国家循環経済戦略が2024年12月4日に公表されている。ドイツは“ドイツ製”を“ドイツ循環”に代えるのがこれからの国家戦略という訳である。長期目標として現在のマテリアル・フットプリント16トン/人・年を8トン/人・年にまで減少させ同時に2045年までの気候中立を目指している。そのために二次原材料の使用を増やすこと(特に建設資材、プラスチック、金属のリサイクルを進める)、原材料の供給の安定性と原材料主権の促進を行い、リサイクルにより戦略的原材料の需要を少なくとも25%をカバーすることを目指すとしている。また2030年までに1人あたりの一般廃棄物を10(2020年比)、2040年までに20%削減を目指している。

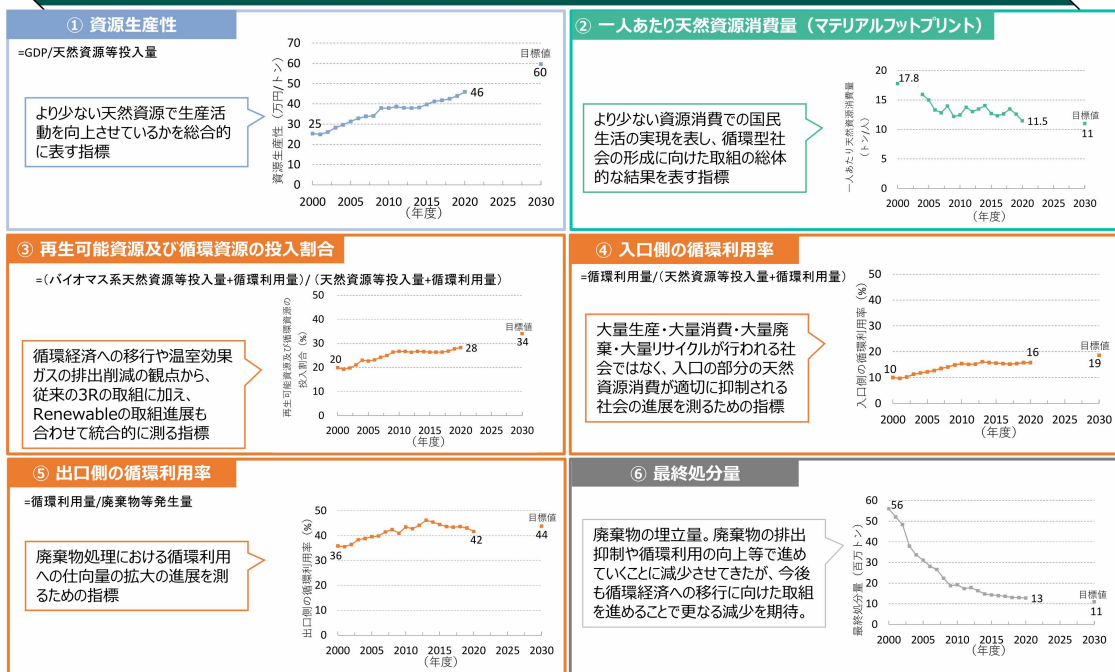
ノルウェーのマテリアル・フットプリントは44.3トン/人・年で、資源循環率は2.4%と報じられている。「The Circularity Gap Report, Norway」によれば、循環経済移行への次のような対策が提案されている。循環型建設業界、循環型食品システム、クリーンエネルギーへの移行、強力な修理、再利用、リサイクル経済、グリーン輸送システム、循環型林業及び木材製品の普及である。

日本のマテリアル・フットプリントの削減目標

日本の循環型社会の取り組み状況について物質フロー指標の変化を以下の表2に示す。

表2

循環型社会の全体像に関する指標（物質フロー指標）



“基本計画”によれば「循環基本法が制定された2000年から概ね20年間で、資源生産性が約72%上昇、入口側の循環利用率が約6割上昇、出口側の循環利用率が約2割上昇、最終処分量が約77%減少し、循環型社会の形成は大きく進展した。しかしながら近年は、入口側の循環利用率は横ばい、出口側の循環利用率は減少傾向となっている」と総括している。2030年に向けての数値目標として資源生産性は約60万円/トン、1人あたりの天然資源消費量（マテリアル・フットプリント）は約11トン/人・年としている。再生可能資源及び循環資源の投入割合の目標を約34%と設定しているが、これを更にカーボンニュートラル/ネイチャー・ポジティブ目標と両立させながらどこまで拡大できるかが循環型社会形成の鍵を握っている。残念なのはマテリアル・フットプリント削減の長期目標が示されていないことである。この基本計画では持続可能な資源管理の観点から十分に議論されておらず、そのため日本の優れたエコマテリアル技術を戦略的にアピールすることができていない。

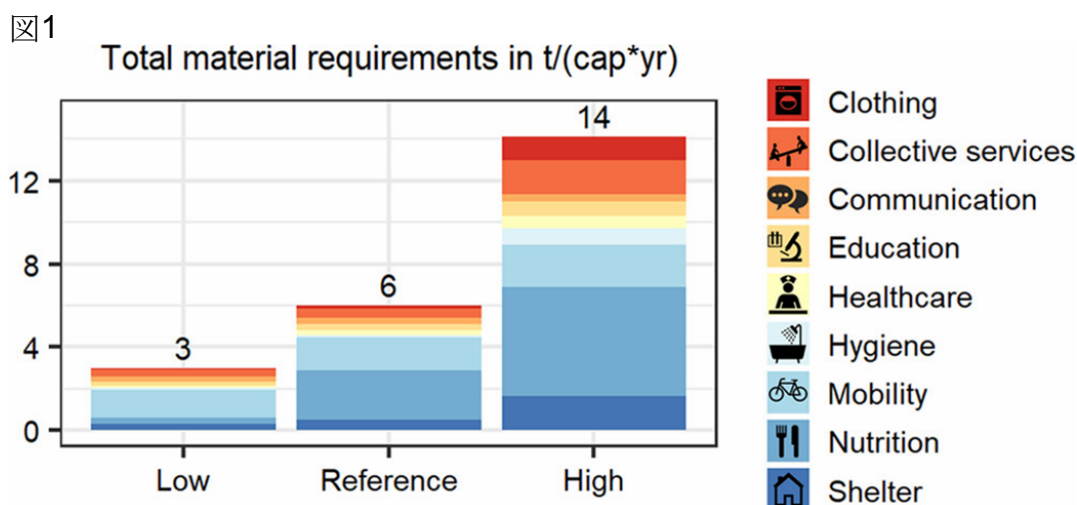
生態系の崩壊に対する国の責任

Jason Hickelら（2022）は、大量の資源利用が生態系の崩壊の原因と考え、“生態系の崩壊に対する国の責任”を評価している。Stefan Bringezuなどの研究により世界の持続可能な資源利用は年間250億トンから500億トンを資源利用の上限として、これを世界市民一人一人に衡平に割り当てて各国のその年度の利用可能量を計算し、それを超過する分を過剰な資源消費量として積算したのである。その結果、米国は27% EU-28は25%、中国15%となった日本は9%である。高所得国のオーバーシュートは、非生物的物质の使用によって、一方低所得国ではバイオマスの使用によって引き起こされている。1970-2017年の間の世界の累積的資源過剰消費量は8,134億トンと計算され、その74%が高所得国の寄与であり、低所得国からの寄与は1%以下であるということは驚くべきことである。世界の持続可能な年間資源利用量がどのくらいであるかは、他の惑星的境界や技術水準にも依存し流動的である。現在、国際司法裁判所で“気候変動に対する国家の責任”が審理されているが、将来資源消費についても

審理される時が来るかもしれない。

まともな暮らしに必要な資源の推定

それでは、まともな暮らし (Decent Living Standards) にはどのくらいの資源が必要であろうか。これに関してドイツ、フライブルグ大学の研究者、JA Velez-Henaoら (2023) は「適切な生活水準に必要な物質」という論文のなかで議論している。評価されたマテリアル・フットプリントを以下の図1に示す。



DLS (Decent Living Standards) を提供するには下限と上限が3 14トン 人・年のマテリアル・フットプリントが必要という結論になっている。栄養 (39%) と移動 (26%) がMF (Material Footprint) に貢献している。ドイツのMFは72トン 人・年、米国では85トン 人・年である。

この研究では適切な生活水準として、1日あたり約2,100kcalの食事をとり、4人家族で15平方メートルの居住スペースを持ち、年間8,000kmの移動が可能で、体育館などの公共サービスばかりではなく、教育施設や医療施設も利用できるとしている。各人が自分の携帯電話を持ち、他の3人の家族とノートパソコンとルーターを共有している。

圧倒的に大きな割合を占めるのは食料 (約38% 1人あたり年間2.3トン) と移動 (26% 1人あたり年間1.6トン) である。栄養のインパクトは祖先から必要とされる大量のバイオマスと肥料にあると考えられる。住宅、衛星、教育、通信、公共サービス、衣類が占めるフットプリントの割合ははるかに小さい。貧困の無い生活のフットプリントを資源タイプ別に見ると、非金属鉱物 (砂、砂利、石灰岩、粘土など) が34%、化石燃料が28%、バイオマス (木材など) が20%、金属鉱物が18%となっている。この研究ではライフスタイルによってもマテリアル・フットプリントが大きく変化することを示している。木造の集合住宅に住み、ビーガン食をとり、主食としてジャガイモに頼り、自家用車の使用を減らし、短距離を歩く場合、マテリアル・フットプリントを年間6トンから3トンに半減できるとしている。一方、高層コンクリートの建物に住み、肉と米の食事で生活し、移動に電気自動車を使用する場合、フットプリントは2

倍以上、年間14トンにもなるとしている。この研究は貧困削減と環境に配慮した持続可能な資源管理が両立可能であることを示している点で画期的である

高所得国の原材料消費量のほんの一部によって、多くの人々が貧困から抜け出すことができると指摘している。エネルギーについてのDLS研究は活発に行われており、JA Velez-Henaoらの論文では、

Raoら10.1 20.9GJ 人・年

Millward-Hopkinsら15.3GJ 人・年

Kitstraら9 36GJ 人・年

が引用されている。ここで1GJは238,846kcalである。参考までに人間の1日に必要なエネルギーは2,200kcal程度である。

脱炭素の制約から物質利用の制約へ

脱炭素の制約から物質利用の在り方を変えなければならないという議論を、国立環境研の南斉規介と渡卓磨が行っている（「物質利用の革新的変化からカーボンニュートラル社会の実現に迫る」、廃棄物資源循環学会誌、2022）。温室効果ガス削減目標に沿うように物質利用を削減する（物質バジェット戦略と呼ばれている）ことを考え、Fe Al Cu Zn Pb Niについて検討している

。2°C目標に沿う温室効果ガスの削減率を各種金属について適用する。そうすると2030年までに天然鉱石からの生産量はピークに達し2100年までの累積での鉱石需要量は現在確認されている資源量の約50%以下に留まると推計している。またスクラップを原料としたリサイクル量は徐々に増加し、2050年までには天然鉱石からの生産量を上回るものの、利用可能なスクラップの量的限界によってその増加は徐々に緩やかになるとしている。著者によると日本を含む高所得国は1人あたり約12トンの主要金属を、低所得国は1トンにも満たない主要金属を社会に蓄積している。世界平均は1人あたり4トンだそうである。2100年には世界平均1人あたり7トンに収束するが様々な技術革新が導入されると10トンまで上昇するという。

渡卓磨ら（2021）は「2100年までの主要金属の需要、供給、環境影響：批判レビュー」を行っている。6つの主要な金属、Fe Al Cu Zn Pb Niの長期的予測に関する70件の研究をレビューしている。その結果、これらの主要金属に対する世界需要は21世紀にわたって継続的に増加することが分かったとしている。例えば2010年に対する2050年の成長率が最も大きいのは

Al 215 Cu 140 Ni 140 Fe 86 Zn 81 Pb 46%) で（いずれも予測の中央値）としている。“枯渇年”（累積一次生産量が埋蔵量を超える年）については

Fe 2042 2045 Cu 2030 2038 Zn 2025 Pb 2020 2025) の数値を示しているが、言うまでもなく本当に枯渇する年ではない。Alの原料であるボーキサイトが21世紀半ばまでに枯渇する研究はないとしている。いくつかの研究では天然鉱石からの一次生産量は21世紀中にピークに達する可能性があるとしている。リサイクルからの二次生産については、Elshkakiら（2018）の研究を引用して、散逸的な損失、長い製品寿命、需要の増加により、リサイクルによる材料供給は21世紀半ばにおいても必要な供給量の数分の一に留まる可能性が高いとしている。さらに既存の研究には材料のライフサイクル全体における環境影響と地球の環境収容力との関係の検討が不足していると指摘している。

資源エネルギー庁の「今後の鉱物資源政策の方向性について（2024年6月）」には、DX GXの本格化に伴い、バッテリーメタル（Li Niなど）に加えてCuなどの需要が急増することを予想している、既存鉱山の枯渇により我が国の自給率の低下が懸念されている。日本の銅精錬事業は世界2位の製錬能力（全体の5%）を持っており、2040年に年間135万トンの供給のために権益取得な

どの様々な施策を実施するとしている。

Adam Kellyは2024年に「持続不可能な消費に対する万能薬か、資源キャップについてのレビュー」と題する論文を公表している。現在の各国の資源管理政策は、経済成長を維持しながら資源を効率的に使用することに重点を置いているが、これらの政策は不十分であること、その代替案の一つが資源の消費と抽出を直接制限する資源キャップ（上限値）であると述べている。特に資源キャップに関連する18の論文を取り上げている。資源キャップはEU-ETSに見られるようにテクノロジー的アプローチに容易に陥る可能性があること、広範な国際的協力の無いままサプライチェーンの上流で実施すると地政学的な影響が生ずるリスクがあること、企業利益または権威主義国家による流用の可能性などを指摘している。

アントワープ大学のGweny Thomassenら（2024）は「鉱物、金属、化石資源の抽出率の惑星境界：循環経済ではどれだけ原材料を抽出できるか」について論じている。枯渇性資源のリサイクルを100%行うことは実際には不可能で、一次原材料の流入はどのくらいであるべきかが将来問題になることを見越しての研究である。惑星境界には、バイオマス、水、土地利用の側面が組み込まれているが、鉱物、金属、化石資源は含まれていない。今後さらに具体的なこのような研究が必要になるであろう。

資源利用の削減は市民の基本的ニーズを満たすことと両立させなければならない。Chris McElroyとDaniel W. O'Neillは2024年11月10日に「すべての人が良い生活を送るために必要な労働と資源利用」という論文を公表した。多地域産業関連分析を用いて、すべての基本的なニーズを提供するために必要な有給労働、エネルギー、CO₂排出量、物質使用量を評価した。最低限必要なもののみを含む「まともな生活（Decent Living）」シナリオと英国市民が求める最低限の生活水準である「良い生活」シナリオについて計算している。その結果は次の通りである。

	週あたりの労働時間	年間エネルギー消費	CO ₂ 排出量	物質使用量
まともな生活	26時間	89GJ/人・年	5.9トン/年	5.7トン/年
良い生活	53時間	165 GJ/人・年	9.9トン/年	11.5トン/年

どちらのシナリオでも地球規模では持続可能な量の労働と資源を必要とすることが分かった。

エシカル消費の実践

世界の資源消費量をピークアウトさせ、環境的側面や人権などの社会的側面に配慮した消費行動を推進するためにエシカル消費が注目されている。エシカル消費には長い歴史があり、様々な活動が行われてきた。最近の動向については日本エシカル推進協議会編著の「エシカルバイブル」（生産性出版、2024年）に詳しい。本稿では“自発的な簡素な生活（Voluntary simplicity）”について述べてみたい。スロー・ライフやミニマリストの生活とも共通する思想であり、実践である。筆者の友人に内藤歆風氏という方がいた。大手企業で環境マネジメントを担当され、定年退職後は伊東市朝善寺の住職となり、シンプルライフ普及センター（水谷広理事長）を設立してシンプルライフの普及に尽力されていたが、残念なことに2021年に逝去されてしまった。内藤歆風氏は「モノの豊かさから心の豊かさへ」をテーマに2000年に伊東市内の川奈ホテルでシンポジウムを開催し、それを基にシンプルライフ普及センターを設立して、シンプルライフの家計簿の普及に努められた。その功績により環境省の第1回グッドライフアワード（2014年）のグッドライフ特別賞を受賞されている。資源消費を減らし、公平な資源消費を進め持続可能な開発目標の達成には、世界の富裕層や高所得国の一般市民が、自発的に簡素な生活を選択しその余力により世界の貧困層を支援することが不可欠と考えるからである。中国、山東大学のPeipei Tianら（2024）は「地球規模での消費を惑星境界の範囲内に抑える」と

いう意欲的な論文の中で、次のように結論している。グローバルな惑星境界超過の責任は、それぞれ先進国の上位10%の消費者によるものが31.67%、途上国の上位20%の消費者によるものが51.91%と推計している。グローバルな上位20%の消費者がグリーン消費を行うことにより、世界の環境圧力を25.53%減少させることができると結論している。詳細は原論文を参照されたい。

過剰消費を減らすために日本でシンプルライフ普及センターが設立された頃、海外でも多くの取組がなされていた。自発的な簡素な生活の選択もその一つである。Paul M. BrownとLinda D. Cameron (2000) は「過剰消費を減らすために何ができるか」この問題を論じている。その中で、消費態度や消費行動を変えることのみを目的としたプログラムは限られた成功しか収められない可能性が高いと指摘している。その代わりに利己的な消費者志向の価値観から根本的に脱却し、環境保全のための消費を制限する努力を動機付け、消費レベルの抑制を目的とした経済・社会政策の策定と受け入れを促進するような向社会的価値志向への転換が必要だと主張している。そのような社会的価値観の転換を浸透させる方法について研究すべきだと言っている。

Sara KarimzadehとMagnus Bostroem (2023) の「3つの段階におけるエシカル消費・充足とケアに焦点を当てる」という論文では人、物質、自然を含む他者に対する責任感と思いやりの文化を育む必要性を強調している。そしてエシカル消費を消費前、消費、消費後の3段階に分けて理解することを推奨し、詳しく論じている。

自発的な簡素化運動の歴史的発展については、Dorsalf Dellech Debabir (2018) の論文「行動分化のベクトルとしての自発的単純化者の態度」に詳しい。著者によれば、自発的な簡素化とは、自分の本当のニーズや価値観を満たすために、将来の世代の福祉のために、そして地球保護のために、意図的かつ継続的に消費を削減することであるとしている。この消費傾向は反消費の文化によって説明できるという。これまでのマーケティングは、私たちの2大恐怖、何かを失うことへの恐怖（物質的不安）と認められないことへの恐怖（自尊心の欠如）を利用して私たちにもっと消費させようとしているのであろうか。自発的な簡素さを守ることで、消費者はストレスを感じなくなり、思慮深い買い物をし、自給自足の価値観を育み、環境保護や家族の生活を重視するようになる。著者はボランティア・シンプルシティの定義とその背景、動機、消費者の態度に与える影響、ボランティア・シンプルシティの類型について詳細に論じている。

結論

1. 日本は2050年の1人あたりのマテリアル・フットプリントを5トン/人・年に目標設定して、カーボンニュートラル、ネイチャー・ポジティブと両立し得る循環型社会・経済を目指すべきではないか
2. そのためには徹底的なエコデザイン（環境適合設計）を企業に義務付け、これまで以上にエコイノベーションを促進すべきである。同時に使用済み製品の社会的回収及びリサイクルシステムを完璧に整備し、強力なグリーン公共調達を実施すべきである。日本は伝統的に環境に配慮したものづくりに優れており、エコデザインをこの気候と環境の非常事態における国家戦略として推進すれば大きな成功を収めることは間違いない。
3. 5トン/人・年のマテリアル・フットプリントをカーボンニュートラル、ネイチャー・ポジティブと同時に達成するには、国民の自発的な簡素な生活の選択とそれに相応しいサステナブル製品サービスをエシカル消費する以外にあり得ない。公共教育においてエシカル消費教育を義務化し国際的な模範となるべきである。
4. ヨーロッパで誕生した工業文明は地球の限界に達して、今や終焉を迎えている。それを自覚するヨーロッパは惑星境界の内側で持続可能なグローバルサウスのモデルともなる“生命文明”への転換を急いでいる。日本は明治

維新によっていち早く工業文明への転換に成功した。今回は資源、エネルギー、食糧を自給し、自然と共生し得る“生命文明”への転換であり、日本が歴史的に得意としてきた分野である。ヨーロッパは工業文明への転換を当初エコロジカル近代化と呼んでいたが、現在では人間中心主義を超えた生命文明を追求している。日本は明治維新以来蓄積してきた科学に基づく工業文明から生命文明への回帰を計るべきである

ここで思い出されるのが二宮尊徳の分度と推譲という考え方である。21世紀においては惑星境界をわきまえ簡素ではあるが哲学的で高尚な生活を行うことが分度であり、地球の将来に向けて生活の中で余ったお金を家族や子孫のために貯めることと、他人や社会のために積極的に譲ることが推譲である。分度と推譲の実行の基本となるのが至誠心であり勤労である。惑星境界を認識し、持続可能な開発目標の達成を目指して貢献することが現代的意味における「報徳思想」であると思うのだがいかがであろうか。