



UNEP



International
Resource
Panel



資源効率性： 潜在の可能性及び 経済的意味

政策決定者向け
要約



謝辞

編集：国際資源パネル

主要執筆者：Paul Ekins、Nick Hughes

執筆協力者：Stefan Bringezu、Charles Arden Clarke、Marina Fischer-Kowalski、Thomas Graedel、Maarten Hajer、橋本征二、Steve Hatfield-Dodds、Petr Havlik、Edgar Hertwich、John Ingram、Katja Kruit、Ben Milligan、森口祐一、Nabil Nasr、David Newth、Michael Obersteiner、Anu Ramaswami、Heinz Schandl、Sangwon Suh、Mark Swilling、Ester van der Voet、Brian Walsh、Jim West、Henk Westhoek

以下の各氏より、貴重な意見をいただいた。Hezri Adnan、Shardul Agrawala、Jacqueline Aloisi de Larderel、粟生木千佳、Peter Borkey、Werner Bosmans、Hans Bruyninckx、Mariano Castro Sanchez Moreno、Minpeng Chen、Patrice Christmann、Jeffrey Herrick、Tim Kasten、Lea Kauppi、Pawel Kaźmierczyk、Vijay Kumar、Yonglong Lyu、Anne Miehe、Jonathan Murphy、小野川和延、Antonio M. A. Pedro、Tlou Ramaru、Astrid Schomaker、Birgit Schwenk、須賀義徳、Ernst von Weizsaecker、Anders Wijkman and Erinç Yeldan

とりわけ、Janez Potočnik 国際資源パネル共同議長、Ashok Khosla 前共同議長の貢献と献身に感謝申し上げたい。

UNEP 事務局チームからは、Shaoyi Li、Christina Bodouoglou、Vera Gunther、Abraham Pedroza を中心に、極めて重要な調整や支援を担当していただいた。

著作権 © United Nations Environment Programme, 2016
本書を教育あるいは非営利目的で使用する場合は、出典を明記することを条件に、著作権保持者の特別な許可なく、全体または一部をその形態を問わず複写することができる。

本書をもとに作成された発行物については、そのコピーを UNEP に送付していただければ幸いである。いかなる場合においても、UNEP の書面による事前の許可無く、本書を再販売あるいはその他の商業目的に使用することはできない。

免責事項

用いられている名称および記述は、いかなる国の法的地位、領域、都市又は地域、権限、あるいは国境や境界の範囲について、UNEP または協力機関の意見を示すものではない。また、本書で表明されている見解は、UNEP の決定や公式方針を必ずしも反映するものではなく、商標・商号や民間の製法・工法等への言及は、これらを推奨する限りではない。

本書の完全版の引用には、「**UNEP (2016) Resource Efficiency: Potential and Economic Implications.** A report of the International Resource Panel. Ekins, P., Hughes, N., et al.」と表記すること。

デザイン・レイアウト：UNEP DCPI

印刷：UNESCO

写真 ©: AFP



政策決定者向け要約



資源効率性:
潜在的可能性及び
経済的意味

作成: 国際資源パネル

本書は完全版の主要な結果を抜粋したものであるため、完全版と合わせて参照されたい。

完成版のダウンロード先: www.unep.org/resourcepanel.

本書の注文はEメール: resourcepanel@unep.orgにて

はじめに

国際資源パネルは 2007 年に発足して以来、天然資源の将来、管理および利用について、政策議論に重要な、かつ独立性と権威ある科学的評価の実施・提供を使命としてきた。15 もの評価報告書を刊行するとともに、政策決定者、財界のリーダーおよび市民社会と継続的な対話を図ってきた当パネルは、天然資源の持続可能な管理の喫緊性や不可避性を強調し、資源効率性が有する技術面・経済面での潜在的可能性や関連の公共政策が目指すべき道を明らかにしており、国際社会における説得力ある見解として際立っている。

資源の問題については、2015 年に起きた二つの歴史的な出来事がとりわけ重要である。一つは持続可能な開発に関する 2030 アジェンダで、貧困撲滅と我々が望む持続可能な未来には、資源の持続可能な管理が不可欠であることを強調している。もう一つは気候変動に関するパリ協定で、現在と将来の世代のより良き明日に向けた変革を実現するための、重要な要素の一つとして、脱炭素化と、経済成長を急増する天然資源の消費や環境劣化から切り離すこと（デカップリング）が、共に取り組まなければならないことが確認された。

2015 年 6 月にドイツで開催された G7 サミットにおいて、資源効率性向上の取り組みへのコミットメント強化の一環として、先進国、新興工業国、途上国を含めたあらゆる国を対象とした、資源効率性について特に有望な可能性や対応方法に関する報告書を取りまとめるよう、G7 国が国際資源パネルに要請した理由はまさにこうしたことにある。本迅速評価報告書は、国際資源パネルの科学者・専門家が一丸となって入手可能な最善の科学的知見を徹底的に検討した結果、実現したものである。本報告書の内容が示すのは、力を合わせて今すぐ行動することの重要性であり、また、資源効率性が周到に実施され、また様々な部門やレベルにおいて支援されるならば、極めて大きな潜在性を有していることである。資源効率性への投資という喫緊の課題が、経済的な成果にもつながりうる。本報告書では、適切に設計された政策の後押しがあった場合に、資源効率性がどのように経済成長や雇用の拡大につながるかを示している。

本評価によれば、資源利用の効率が比較的不十分な分野が多いため、資源効率性が有する潜在的可能性は極めて大きい。本研究のために実施されたモデルリングでも、このことが裏付けられた。このモデルリングでは、資源効率性と気候政策を組み合わせると、

2050年までに世界の資源消費量を安定化させ、同時に所得と経済成長を拡大させることが可能であることが示された。

今後に向けて、本報告書は世界中の様々な国の様々な部門における資源効率性向上の例を数多く掲載している。そのことにより、今後の様々な課題を整理するとともに、相互に学び、成功している事例を拡大する方法を示した。

最後に、Paul Ekins および Nicholas Hughes 両氏には多大な尽力による、資源効率性の潜在的可能性と経済的意味の理解に向けた最新の総合的視点を提供していただいたことに深く感謝申し上げたい。熱意ある有志がいれば、万人の福利厚生を向上させ、今日と明日の地球を守ることが可能であると思えるのも、両氏のすばらしい貢献のおかげである。

国際資源パネル(IRP) 共同議長



Dr. Janez Potočnik,
リュブリャナ(スロベニア
共和国)にて



Dr. Alicia Bárcena,
サンティアゴ(チリ)
にて

緒言

これまでの10年間に於いて、資源効率性ならびに天然資源の持続可能な管理の重要性が大幅に高まり、昨年には、17の持続可能な開発目標という歴史的な採択がなされるとともに、先進7カ国（G7）の指導者が持続可能な開発の核として、資源効率性を向上させる野心的な行動を推進することを決定した。

このコミットメントの一環として、G7は国際資源パネルに対して資源効率性の潜在的可能性や特に有望な対応方法に光を当てた統合報告書を取りまとめるように要請した。そこで取りまとめられたのが本迅速評価報告書『資源効率性—潜在的可能性及び経済的意味』である。本書では、資源効率性の現状と動向を分析するとともに、先進国、新興国および途上国にとって優良事例と実現方法を紹介する。

G7国が資源効率性の先陣に立つことは肝要かつ意義のあることであるが、それだけでは十分ではない。資源効率性を向上させるためには、経済や発展の多様性を超えて、あらゆる国が協調し、資源の生産・消費のあり方を変えていくことが求められる。偽りのない効果的な国際協力こそが、資源効率的未来への変革を実現させることができる。

こうした変革はすべての国にとって大きな課題となると同時に、天然資源基盤と環境を将来世代のために保全しつつ、創意と活力があふれ、持続可能で人間中心の経済を実現する歴史的な機会ともなる。つまり、資源効率性の全世界的な向上は、2030アジェンダの諸目標を達成するための有効な手段なのである。

資源の課題は地域の実情によって異なるため、すべてに有効な解決策はあり得ないことを踏まえつつ、あらゆるレベルにおいて明確な政治的意思、行動および決意がなければ、2030アジェンダを達成することはできない。

本報告書に掲載する諸事例は、どのような取り組みが有効であり、それはなぜなのかを浮き彫りにしている。例えば、英国では埋立税の導入がリサイクル率の向上大きく貢献した。2012年には全廃棄物の26%であったリサイクル率が、家庭ごみに限ってみれば2014年には45%近くまで上昇した。日本では、トップランナー制度（機器の省エネ達成基準（平均）を設定する際に省エネ性能が最も優れている機器を基準とする制度）を導入した結果、機器の種類にもよるが、過去12年に16～80%の効率向上が見られた。

本報告書では、農作物の脇に木を植えることで土壌の地力を向上できることも実証されている。例えばザンビアでは、16万の農家が窒素を固定させる機能を有するアカシアの木を作物の間に植えたが、トウモロコシの平均収量はアカシアの樹冠の外側では1.3t/haであったが、樹冠の内側では4.1t/haとなった。本報告書では、作物の脇に木も植えると土壌の肥沃度を向上させることも実証されている。

こうした事例は、意欲的に力を合わせて取り組むことで何が達成できるのかを示すとともに、私たちに希望と、前進を促す原動力を与えてくれる。この重要な報告書の内容が、資源効率性向上に向けた揺るぎない取り組みのきっかけとなることを切に願うものである。

最後に、Janez Potočnik、Alicia Bárcena 両氏の主導の下でこの重要な報告書をまとめられた国際資源パネルに感謝を申し上げたい。



A handwritten signature in black ink that reads "Achim Steiner".

国連事務次長・国連環境計画(UNEP)
事務局長

Achim Steiner

ナイロビ(ケニア)にて、2016年3月

目次

主要メッセージ	3
1. 序章	6
2. 資源効率性向上の喫緊性と機会	12
2.1 資源効率性の向上という喫緊の課題	12
2.1.1 SDGs達成には資源効率性の大幅な向上が不可欠	12
2.1.1.1 物質資源に関する将来の利用可能性	13
2.1.1.2 資源価格の不安定性と長期的上昇	16
2.1.1.3 再生可能資源の持続可能な利用	17
2.1.1.4 資源採取と利用の環境影響	22
2.1.2 気候変動目標を費用対効果良く達成するには資源効率性の大幅な向上が不可欠	24
2.2 資源効率性向上の経済的機会	26
2.2.1 資源効率性向上の費用と便益	26
2.2.2 外部性削減の便益	28
2.2.3 資源効率性のマクロ経済的便益	30
3. 資源効率性向上のための優良事例	32
3.1 資源効率性の障壁の克服	34
3.2 資源効率性向上に向けた取り組み・プログラム	35
3.3 資源効率化の優良事例	38
3.3.1 物質	38
3.3.2 土地・土壌	44
3.3.3 水	49
3.3.4 エネルギー	55
3.4 システム思考と連環(ネクサス)課題	61
4. 結論	62
4.1 資源効率化の喫緊性と機会	62
4.2 資源効率性向上の優良事例	63
参考文献	67



主要メッセージ

協調行動による資源効率性向上のポテンシャルは著しく、経済及び環境に多大な便益をもたらす。

1. 環境保護と開発を両立させる持続可能な開発目標(SDGs)を達成するためには、資源効率性の大幅な増加が不可欠である。

資源の利用は人類の繁栄の中心をなすものである。17の持続可能な開発目標(SDGs)のうち、12の目標はあらゆる種類の天然資源について経済全体で持続可能な管理を実施することに直接関わっている。今日の資源消費のあり方が、人間の福利厚生に様々な悪影響を及ぼしている。資源効率性は短期および長期の便益をもたらすとともに、全体的な経済的・環境的強靱性を向上させる。資源効率性の向上は、人類の発展に必要な資源安全保障に欠かせず、またそうした発展と環境保護の両立により、SDGsの掲げる「我々が望む未来」を実現するためにも不可欠である。

2. 気候変動目標をコスト効率良く達成するためには、資源効率性の向上が不可欠である。

資源の採取・加工・利用には多大なエネルギーを必要とする。そのエネルギーは主に化石燃料から得ているのが現状だが、その過程で二酸化炭素(CO₂)

等を排出させている。多大な土地利用や土地利用の変化はCO₂をはじめとする温室効果ガス(GHG)の排出を伴う。資源効率性はこうした排出だけでなく、低炭素技術の多くに必要となる物質消費量の増加による悪影響も大幅に削減することができる。資源効率性を大幅に向上させることなくして、地球温暖化の平均で摂氏2°C未満に抑制することは困難であり、できるとしてもその費用は大きく上昇する。

3. 資源効率性は経済成長と雇用創出の促進に貢献し得る。

資源効率性の向上は経済成長と雇用の拡大にもつながるとする、有力な証拠がある。しかし、資源効率性の向上を達成するためには、イノベーションと技術変革の速度と方向性を変えることで資源効率性の障壁を克服するとともに、合理的かつ具体的な規制、インフラ整備への適切な投資、環境税改革ならびに資源効率性とイノベーションを支える財政政策と持続可能な公共調達の戦略的活用を組み合わせることが必要となる。資源効率性向上の目標を設定し、その達成状況を把握する必要がある。

4. 多くの分野において資源効率性を向上する機会が存在する。

資源利用の多くの分野で効率が比較的非効率なため、経済活動における多くの部門で大きな改善の余地がある。発展途上国では、インフラの設計や開発の方向性を初めから資源効率性の高いものにすることができる。本報告書のために実施した新しいモデリングでは、資源効率性と気候変動政策の実施により、2050年まで世界の資源消費量を現在のレベルに抑えつつ、所得や経済成長を拡大できることがわかっている。

5. 資源効率性の向上は実際に達成可能である。

様々な部門や経済活動において資源効率性の向上を実現した実例は、その発展段階を問わず世界各国に数多く存在する。社会、環境および経済の面で便益となり、生きる価値のある世界の実現に寄与する実例である。こうした優良事例に学んでその拡大を図るとともに、各国の実情に適した転換に向けた政策を策定・実施することが政策決定者に課せられた課題である。



1. 序章

注記：資源効率性に関する本報告書は、2015年6月に議長国ドイツのシュロス・エルマウで開催されたG7¹ サミットにおける各国リーダーの要請を受けて、国連環境計画（UNEP）国際資源パネル（IRP）が作成したもので、評価報告書完全版（近刊）の政策決定者向け要約である。完全版は、IRP およびこの分野に関係する他の国際機関や研究者の主な取り組みをまとめたものとなっている（UNEP, 2017）。

本書は資源効率性の展望に関する報告書である。資

源効率性が、いかに経済成長と開発に貢献できるのか、また、いかに物質、エネルギー、バイオマスおよび水の世界消費量と、その消費による環境影響を削減できるのか、について検討している。

2015年は節目の年であった。公平で持続可能な開発の実現に向けた国際社会による共通のコミットメントを確認した二つの歴史的な国際協定の成立を見たのである。その一つは、17の持続可能な開発目標（SDGs）を含む持続可能な開発のための2030年ア

¹ 先進7カ国(G7)は、カナダ、フランス、ドイツ、イタリア、日本、英国、米国。欧州連合(EU)も代表者が出席する。



ジェンダである。2030年に向けた全人間社会の前向きな志をこれほど完璧に表現したものはない。もう一つが、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）第21回締約国会議（COP 21）で合意されたパリ協定である。産業革命以前の水準と比較して世界の平均気温の上昇を 2°C を十分に下回るものに抑えるべく195カ国が誓約した。

2030アジェンダ、パリ協定ともに、先進国、新興国、

途上国が力を合わせて貧困を削減し、現在および将来の世代のために地球の資源・生態系を保護することを決意したという意味で大きな意義がある。

再生可能エネルギーや非再生可能エネルギー、物質、水、空気、バイオマス、土地など、資源は人間の福利厚生の本根をなすものである。本報告書における資源の定義とその関連用語、ならびに資源消費量の計測方法をコラム1に掲載した。

コラム1: 資源とその計測

本報告書において「資源」とは、財・サービスを人類に提供する能力を有する物質界の諸要素のことをいう。したがって資源には、空気（大気）、水（海水、淡水）、土地が含まれる。土地とは陸上空間（人間の居住地、および人間以外の生物の生息地）のことであり、土壌と相まってバイオマスと生物多様性の源泉である。地下資源とは、金属鉱物、非金属鉱物および化石燃料のことであり、化石燃料の燃焼は主要な温室効果ガス（GHG）である大気中の二酸化炭素の主な排出源となっている。環境エネルギー（例：太陽光、風力）も重要な資源である。「天然資源」とは、自然が提供する資源のうち、人間による採取や加工を経る前のものをいう（例：金属ではなく金属鉱物）。

物質資源は大きく化石燃料、バイオマス、金属、非金属鉱物に分類されることが多い。その計測単位は多くの場合トンである。土地の計測単位は通常面積（平方メートル等）で、水は体積（立方メートル等）である。

計測においては、ある地域における産出資源・環境影響と、ある産品・サービスのサプライチェーン全体に関連・由来する産出資源・環境影響や国別の最終需要とを区別することもある。後者は、「消費ベース」の指標または「フットプリント」と呼ばれる。フットプリントは主に、土地（バイオマスの産出に必要な土地も含む）、水、物質（金属および鉱物）、二酸化炭素について算出される。

本報告書において「資源効率性」という用語は、資源利用の技術的効率（エネルギー・物質の単位当たりの投入量に対するエネルギー・物質の有用な産出量で計測）、資源生産性、すなわち、単位当たりの資源量に対する経済的付加価値の量（単位当たりの資源投入量に対する有用な産出量・価値で計測）、資源の採取・利用が環境に与える悪影響の度合い（資源効率性の向上はそうした悪影響の原因となる環境負荷の低減を意味する）等の概念を網羅している。資源強度とは資源生産性の逆数で、単位当たりの付加価値に対する資源消費で計測する。同様に、環境強度とは単位当たりの付加価値に対する環境負荷のことである。



地球は天然資源を潤沢に供給し、人間はそれを潤沢に使う。2015年においては、人間の経済のために840億トンの物質が採取され消費された（UNEP, 2016c）。人間の必要や欲望を満たすため、今や地球上の土地の3分の1が耕作地として使われている（FAO, 2016; UNEP, 2014a）。2005年においては、世界全体で見て陸地で同年に生産されたバイオマスの25%を人間が消費した（Haberl et al., 2014; Krausmann et al., 2013）。漁業資源のうち、61%が生物学的に持続可能な最大限度まで漁獲されており、

29%は乱獲状態である（FAO, 2014）。世界の多くに地域において、淡水の供給はストレス状態にあるか、不足状態にある（WWAP, 2015）。

人間活動が、生態系の急速かつ広範な変化をもたらしており、これは、主に食糧、淡水、木材、繊維、鉱物、燃料の需要増に伴うものである（MEA, 2005; UNEP, 2012a）。こうした変化が生態系サービスの多くを枯渇・劣化させ、急激かつ破壊的な環境変化のリスクを拡大し、一部の人々については貧困を悪化

させた (MEA, 2005)。

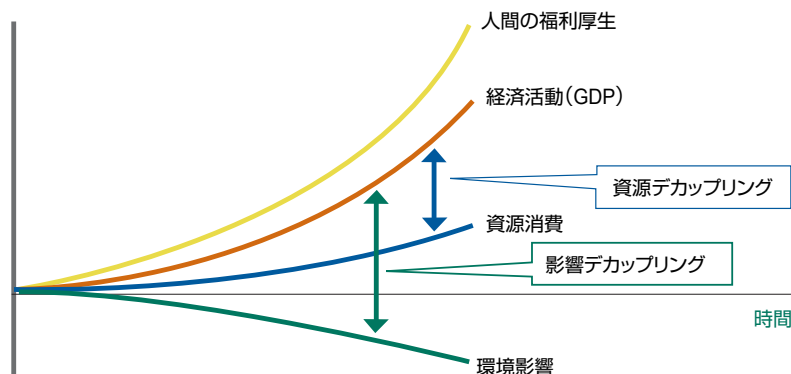
世界の人口は 2050 年には 97 億人に達すると予測されており、これは 2015 年と比較して 33% の増加である。この人口増加の多くは、アフリカとアジアの都市部に集中する公算が強い (UN, 2015)。この増加は、特段の施策をとらないいわゆる現状維持 (BAU) シナリオにおける経済成長と相まって、環境負荷と資源需要を劇的に増加させる公算が強い (Krausmann et al., 2009; UNEP, 2012a)。例えば現状維持シナリオにおいて、世界の年間物質採取量は 2050 年には、2015 年比で 2 倍以上に相当する、1,830 億トンに達すると予測されている (Schandl et al., 2015)。食糧需要と繊維需要は、2050 年にはそれぞれ 60%、80

～95% 増加する可能性がある (FAO, 2012)。同様に、水需要は 55% 増加する可能性がある (OECD, 2012)。

本報告書では多くの文献等に基づき、地球の諸資源の一部についてはその供給に大きな制約があり、地球の生態系が安全に吸収できる環境影響には実際には限度があることを示している。資源消費とそれに伴う環境影響を経済生産高の伸びから切り離す、「デカップリング」が求められている。

デカップリングの概念を図 1 に示した。この図では、経済的成果 (国内総生産 (GDP) で計測) と、例えば SDGs の達成状況で示されるような人間の福利厚生

図1: 資源消費と環境影響のGDP成長からの切り離し(デカップリング)



出典: UNEP (2011a), Figure 1, p. xiii

GDPの伸びよりもはるかに緩やかであり（相対的な資源デカップリング）、環境影響に至っては低下している（絶対的な環境デカップリング）。つまり、この概念図ではデカップリングの考え方を通じた資源効率性の理想的目標が示されている。すなわち、経済生産高と人間の福利厚生は伸び続ける一方、資源消費と環境影響は鈍化し、やがては低下に転じることで、現在と将来の世代のために資源消費と生態系の財・サービスの提供が維持されるというものである。

地球が直近およびより将来的にどのぐらい人間に資源を継続して提供できるかは、極めて重要な問題である。その提供能力の危機的な枯渇を回避するためには、人間が地球資源を効率的に利用することが不可欠である。

本報告書ではまず、資源消費に伴う環境影響を科学的に特定した「安全な活動領域 (safe operating space)」(Steffen et al., 2015)の範囲内まで低下させるためには資源効率性の向上が不可欠であることを主張する。そのような生態的領域内に留まることが（気候変動の場合はCOP 21における合意での公約が該当）は、SDGsが描く人間の福利厚生の増進を実現・維持し、資源供給の混乱やそれに伴う資源価格の不安定性にも回復力のある（レジリエントな）

経済を実現するならば、不可欠である。次に、資源効率性の向上という喫緊の課題は経済成長と雇用創出の機会でもあることを示す。さらに、物質、食糧、土地、水およびエネルギーの利用における資源効率性に関する優良事例をその実践方法を含めて紹介する。最後に、資源効率性の機会が豊富に存在し、またそれは経済と環境の双方に有益であり、社会発展を促進しうることを示す。これらは公共政策による介入によっても達成可能である。

真摯に資源効率性に取り組み、資源効率性の機会を深く追求する大きな理由がここにある。だからこそ、各国政府をはじめとする政策決定者の間で資源効率性への関心が高まっているのであり、本報告書が主題とするこのテーマについての文献も豊富なのである。まさに、このことが、G7の各国政府が本報告書の作成を要請した理由を物語っている。





2. 資源効率性向上の喫緊性と機会

2.1 資源効率性の向上という喫緊の課題

2.1.1 SDGs達成には資源効率性の大幅な向上が不可欠

SDGs をすべて達成するためには、地球の天然資源基盤の持続可能な管理と利用などが必要となるが、SDGsのうち、12もの目標がその達成に基本的な要素として資源と環境を直接言及している（図2）。

図2: 天然資源の持続可能な使用に直接関わる持続可能な開発目標の数



出典: UNEP (2017)

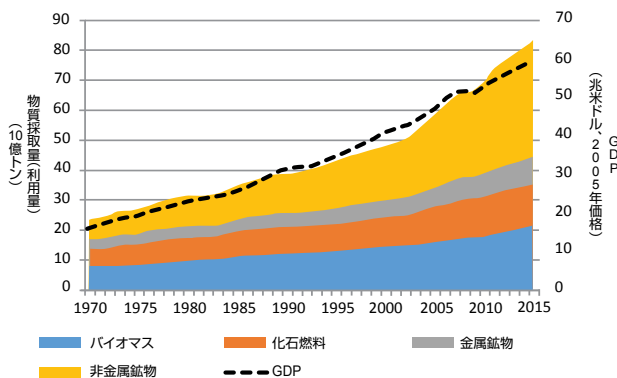
資源効率性は4つの観点から、環境的に持続可能な方法でGDPの成長と人間の福利厚生に寄与する。4つの観点とは、将来の資源利用可能性、資源価格の上昇と不安定性、今日の非持続可能な資源利用、資源の採取・利用の環境影響である。これらは、上記のSDGsの達成における核となるものである²。

2.1.1.1 物質資源に関する将来の利用可能性

これまでの傾向を見ると、世界の資源消費量は一貫して増加していることがわかる。UNEP (2011a)は、世界の物質（鉱石、鉱物、化石燃料、バイオマス等）の採取・利用量は1970年から2005年までの間に8倍に増加したと推定している。これは人口増加率の2倍であるが、GDP成長率よりは多少低い。GDPは20世紀の100年間において、実質ベースで19倍増加したと考えられる（De Long, 1998）。したがって以上の数字は、長期的な視点から、物質採取量のGDPからの「相対デカップリング」を示すものとなっている。しかしながら、このような相対的資源デカップリングは、資源消費量の絶対的な減少を伴うものではない。図3に1970年から2015年までの物質

採取量とGDPの推移を示した。物質採取量が継続して大きく増加していることがわかる。実際、この最新データによれば、物質採取量は2000年以降、GDPの成長率を超える増加率を示しているようである。すなわち、この傾向が続けば「リカップリング（再運動）」する可能性があることがうかがえる。

図3: 世界の物質採取量(10億トン)と世界のGDP(兆米ドル、2005年価格):1970~2015年



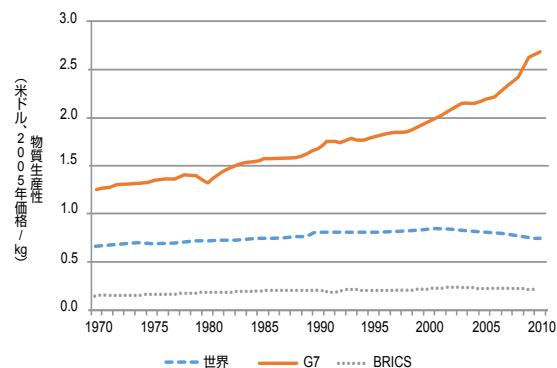
出典: 物質採取量データはUNEP (2016c)、GDPデータはUNSD (2015)による。

² SDGsには上記以外にも、貧困撲滅、ジェンダー平等、開発成果の公正化などの目標もあることは言うまでもない。資源効率性の向上がこうした上記以外の目標の達成にどの程度寄与するかは、資源効率性の達成そのものを旨とした政策の詳細内容によって左右される。しかし、それは本報告書の範囲を超える。

物質生産性（国内物質消費（DMC）³の単位当たりの重量に対する経済生産高の量で計測、略称MP）がG7国において1970年から2010年までの間、平均年率1.9%で着実に増加していることを図4に示した。同じ期間におけるBRICS⁴国の物質生産性は、G7国と比較してかなり低いものの、平均年率1.2%で微増している。他方、世界全体で見ると、物質生産性は実質横ばいであり、2000年以降はわずかながら低下していることが図4からわかる。これは2000年以降、GDPの成長率よりも速い速度で物質採取量が増加したことを反映している（図3）。世界全体の物質生産性が近年減少したのは、生産拠点が物質生産性の高い国からはるかに低い国に移転するという世界的傾向のためである。これは、途上国の多くにおいて産業転換が急速に進んでいる結果である。したがって、G7国の物質生産性が高かつ向上しているのは、一部は物質利用の経済効率が高くなったことにもよるが、重工業や製造業からサービス業への構造転換も要因と考えられる。サービス業と輸入製造品の割合が拡大している国は、その経済構造の変化の結果として、国内物質消費ベースで物質生産性を向

上させることができる。ただし、これは必ずしも物質生産性を世界レベルで向上させることにはならない。それどころか、サービス業主体の国からその消費に伴う物質的・環境的負荷が「輸出」されただけなのかもしれない（UNEP, 2015b）。

図4: 世界、BRICSおよびG7国の物質生産性(国内物質消費(DMC)1kg当たりの2005年不変米ドル、1970~2010)



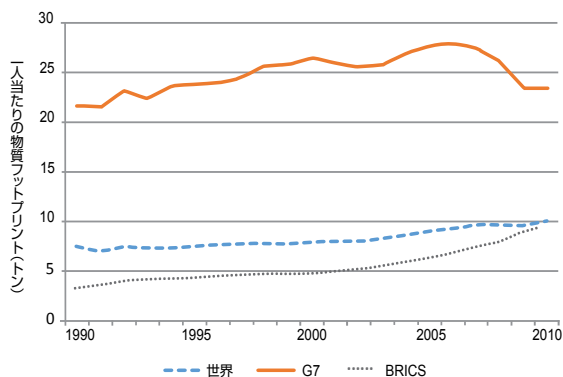
出典: UNEP (2016c)より作成

³ 国内物質消費(DMC)とは各国が直接消費する物質の総量であり、国内の資源採取量に物質の総輸入を加え、物質の総輸出を引いたものに等しい。参考URL:[http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Domestic_material_consumption_\(DMC\)](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Domestic_material_consumption_(DMC))。

⁴ ブラジル、ロシア連邦、インド、中国、南アフリカ。

この影響は、G7 および BRICS 国ならびに世界全体の 1 人当たりの物質フットプリント (MF) の総計を示した図 5 に表れている。物質フットプリントは、財・サービスの輸出入に関する上流の物質採取量すべてを生産国ではなく最終消費国に帰属するものとして算出する。BRICS 国の物質フットプリントが着実に増加しており、世界平均に近づきつつあり、同諸国における消費の拡大を示していることが図からわかる。しかし、BRICS 国の物質フットプリントは G7 国の半分にも達していない。G7 国の物質フットプリントが 2008

図5: G7、BRICSおよび世界の国内最終消費における1人当たりの物質フットプリント(トン、1990~2010年)



出典: UNEP (2016c)より作成

年の世界金融危機以降、大きく減少しているのにもかかわらずである。これは、物質採取やその環境影響がすべて G7 国で発生しているわけではないにもかかわらず、G7 国の 1 人当たりの物質消費が BRICS 国や世界の平均よりもはるかに多いことを示している。

以上のデータ全体から、長期的には世界レベルで物質採取量と GDP の相対的デカップリングが確認できるものの、資源の絶対採取量の持続的な増加傾向に歯止めをかけるまでには至っていないことがうかがえる。実際、20 世紀では長期的な相対的デカップリングが見られたが、近年のデータを見ると、資源採取量の伸びは GDP よりも大きくなっており、「リカップリング」が発生していることがうかがえる。

経済同様、人口増加も続いている。現在の傾向が続けば、世界人口の増加と豊かさの平均水準の上昇は、引き続き物質の消費・利用を押し上げると考えられる。こうした促進要因により、年間物質採取量は 2050 年には 1,830 億トンに達すると予測されているのは前述のとおりである。世界経済において、そのような量の物質を円滑かつ機動的に採取・利用しつづけることは、ますます困難になりつつある。鉱石や鉱物は有限であり、その多くは地域的に偏在している (UNEP,

2015b)。バイオマスは再生可能な資源ではあるものの、その再生速度には限度があるため、持続可能な消費量には自ずと限界がある。鉄、銅、アルミなどのバルク金属は大規模インフラの整備に不可欠であり、また、インジウム、白金、ロジウム、ネオジムなどの元素はその採取・利用量は少ないものの、太陽光発電の電池・蓄電池・触媒や風力タービンなどの低炭素技術に必須であることから、炭素排出削減の取り組みにおいてますます欠かせない存在となっている (BMUB, 2012; UNEP, 2010, 2013b, 2013c)。窒素やリンは、バイオマスを生産する土地にとって不可欠である (BMUB, 2012; UNEP, 2014a)。こうした物質の使用・リサイクルを効率的に行えば、その将来の利用可能性が大きく毀損されるリスク・危険性を低下させることができる。

2.1.1.2 資源価格の不安定性と長期的上昇

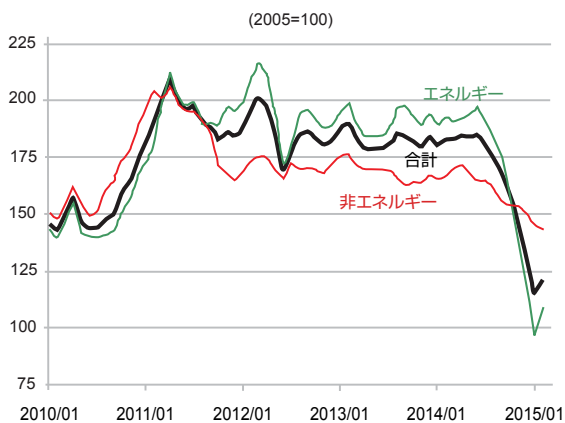
第二の問題は、資源・商品価格を大きく変動させてきた資源供給の市場動態に関するものである (UNEP, 2015b, 2010 ~ 2015 年の商品価格の変動については図 6 参照)。また、20 世紀に特徴的であった資源・商品価格の長期的低減傾向が 21 世紀初頭には終わり、商品価格は 2000 年から 2012 年まで着実に

上昇したことを示す研究がある (Dobbs et al. 2013, Exhibit 1, p.6)。2014 年における価格の劇的な下落 (図 6 参照) にもかかわらず、その需要が気候政策によって制限を受ける化石燃料を除けば、食糧を含む商品の価格も需要の高まりに伴いやがて上昇傾向に転じる公算が強い。

高かつ不安定な資源価格は重大な経済的・社会的な問題を引き起こしかねない。最貧層や最弱者層を中心に市場から閉め出され、不確実性の増大によって投資が阻害されるとともに、平和と安全が脅かされないからである。実際、2007 年から 2008 年の間に多くの国で暴動が発生した原因の一つが食糧価格の高騰であった。

資源効率性が資源需要を低下させることができるなら、価格の不安定性の経済的な負の影響を軽減し、資源が公平かつ安価に利用できる可能性を高め、資源輸入地域を中心に資源安全保障を向上させることにもつながる。

図6: IMF商品価格指数(2010~2015年)



出典: IMF (2016) <https://www.imf.org/external/np/res/commod/index.aspx>

2.1.1.3 再生可能資源の持続可能な利用

第三の問題は、土壌、水、生物多様性、漁業資源など、陸域および海洋の再生可能資源を持続可能な方法で利用する必要性についてである。こうした資源は、農業、水産業、林業などの基幹部門の存在基盤を支えている。

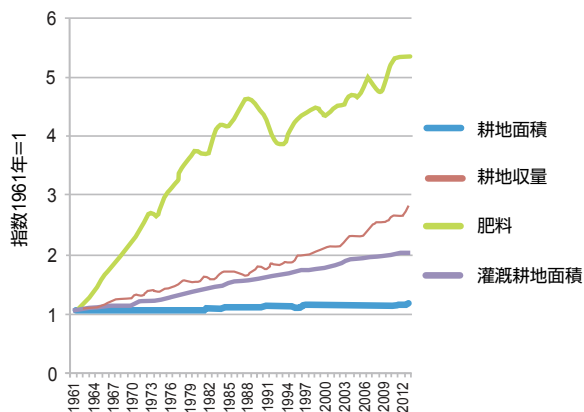
人間の基本的要求や欲望を満たすために陸地の多くはすでに耕作地となっている。FAOの統計によれば、全耕地面積は1,580百万ヘクタール(1,580 Mha)で世界の陸地の11%を占め、全農地面積(永年草地

を含む)は4,930 Mhaで世界の陸地の3分の1を占めている。全農地面積は、1961年から2013年までに約11%拡大した(FAO, 2016)。2005年に地球の陸地表面で生産された総バイオマスのうち、同年に人間が消費した割合は約25%である(Haberl et al., 2014; Krausmann et al., 2013)。農地については、近年、東南アジアや南米などの地域において農地が増加しているが、欧州や北米などの地域で減少しているため、相殺されている(FAO, 2016)。Dalgaard et al. (2008)は、欧州における耕地面積の減少はラテンアメリカからの家畜飼料用大豆の輸入増加が飼料作物の国内栽培に置き換わっていることと関連しているとみている(Dalgaard et al. (2008), in UNEP (2014a), p. 25)。農地が拡大している場所は、どのような土地利用形態に置き換わっているかという点で重要な意味を持つ。豊かな生物多様性を有する原生林の喪失は、南米や東南アジアなどの地域において特に問題となっている(UNEP, 2014a)。

世界の主要作物生産量は、1961年から2013年までに3倍以上に増加した(FAO, 2016)。世界の耕地面積については約14%の増加である(FAO, 2016)。その原因は土地生産性の着実な向上であるが、それは農業投入材の大幅な増加によってもたらされたものである。図7に示したように、1961年から2013

年までに灌漑耕地面積は2倍、肥料投入量は約5倍に増加した。重要な農業投入材の一つである農薬の投入量も、1990年から2011年までに約3倍に増加した（FAO, 2016）。

図7: 耕地、農業投入量、耕地収量の伸び(1961~2013年、指数1961年=1)



出典: (FAO, 2016)より作成

必要となる世界の食糧生産の拡大を支える上で、生産性の向上は重要な役割を果たしてきたものの、課題も抱えている。肥料用の投入材は有限かつ地域的に偏在している資源であり、その資源の不足や価格の上昇は、食糧生産の拡大が継続してきた結果であるかもしれない（BMUB, 2012; Senthilkumar et al., 2014）。次の節において検討するが、肥料の採取や

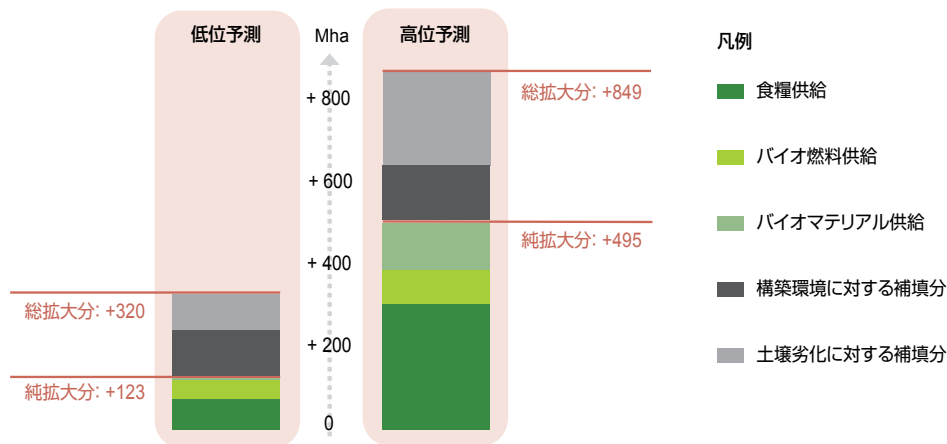
集中的な使用は環境汚染の原因となる。また、肥料と農薬の使用を増やせば収量を無限に増やせるかどうかは明確ではない。これまでの10年間における穀物の生産高の伸びは、それ以前の数十年間よりも鈍化していることが知られており、生産高の増加率の低下傾向は継続すると予測されている（von Witzke et al., 2008; Bruinsma, 2009; UNEP, 2014a）。

同時に、人口増加、飢餓や栄養不良への対策、豊かさの拡大に伴う食生活の変化を背景に、食糧供給に対する需要が拡大することも予測される（Msangi and Rosegrant, 2009; UNEP, 2014a）。食糧へのアクセスは、不平等に分布している。2015年においては、世界人口の11%にあたる約7億9,500万人が栄養失調状態にあった。その半数以上がアジアに居住しており、また、サハラ以南のアフリカは人口に占める栄養失調の割合が最も高く、23%にも達していた。栄養失調の人口は1990年には10億人で世界人口の19%弱を占めていたが、それ以降減少傾向にある。同じ期間（1990～2015年）において、世界の食肉消費量は90%増加した（FAO, 2015a）。単位あたりの栄養価に必要な土地面積を比較すると、畜産由来の食糧は植物ベースの食品の約5倍となる（UNEP, 2009）。今後も食糧需要が拡大すると予想されていることが

ら、世界の農地（耕地および永年草地）は2030年までには10%、2050年までには14%増加するとOECDでは予測している（OECD, 2008）。UNEP（2014a）は耕地面積の拡大に着目し、食糧需要に加えて、バイオ燃料やバイオマテリアルの需要増加、ならびに構築環境への転換や土壌劣化による土地の喪失などその他の環境圧力を検討している。UNEP

（2014a）の予測によれば、現在の傾向が続くとすると、2005年から2050年までの世界の耕地面積の総（グロス）拡大分は320～849 Mha（21～55%増加）である⁵。この耕地面積の拡大予測における要因別寄与度を図8に示した。

図8: 食糧需要対応と土壌損失分補填による世界の耕地面積の拡大動向(2005～2050年)



出典: UNEP (2015c)

http://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/487916/UK_Statistics_on_Waste_statistical_no-org/resourcepanel/Portals/50244/publications/Poster1-LandUse-FinalScreen.pdf

⁵ 耕地面積の純（ネット）拡大分は、高収量化では補填できない食用・非食用バイオマスの需要増分である。総拡大分には、深刻な土壌劣化（特に土壌劣化によるもの）や市街地化による土地喪失が原因で他の地域に移転した耕地も含まれる。



UNEPによる土地に限った「安全な活動領域 (safe operating space)」に関する推計によれば、耕地面積の拡大余地はせいぜい1,640 Mhaである。これは、ベースラインとした2005年の耕地面積よりも140 Mha (10%) 多い。その後に表示されたFAOの統計では耕地面積は約1,580 Mhaとされている (FAO, 2016) ことから、「安全な活動領域」における今後の拡大幅は極めて限られていることは明白である。

清浄な水へのアクセスも人間にとって根本的に必要なものである。人間が1年間に消費する水の量は、1900年の6,000億 m^3 から2010年の4兆5,000億 m^3 に増加した。この水消費量の増加率は人口増

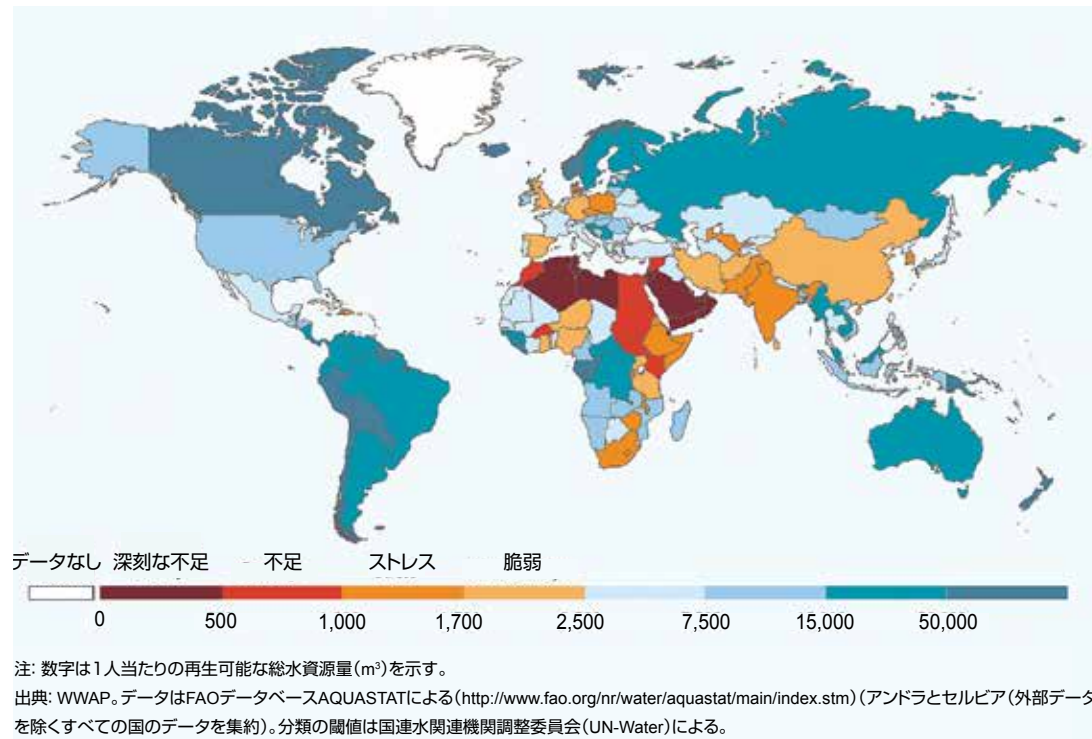
加率の2倍 (UNEP, 2012b) である。多くの水を必要とするライフスタイルの拡大や工業・農業の集約化を反映している。現在、世界の取水量の71%を占めるのが農業で、残りは工業用水と家庭用水でほぼ二分している (Addams et al., 2009; FAO, 2011)。農業の集約化にとって水が重要であることは、図7が示すように1961年から2013年までに灌漑耕地面積が倍増したことからわかる。

地球の水循環における総水量は不変であるが、水資源は地域によって、汚染、水ストレス、危機的な枯渇等に晒されている。ある地域の取水率が水資源賦存量 (IRWR) の20%を超えると「水資源に相当の負

荷がかかり、40%を超えると『危機的』な状況となる」(FAO, 2011)。IRWR に対する取水率は、東アジアと東南アジアで 20% 弱、西アジア、中央アジアおよび南アジアは 50% を超えている。北アフリカで

は 201% である。これは取水量が供給可能量をはるかに上回り、河川や帯水層の水補給が間に合わない状態である (FAO, 2011)。図 9 に示すように、水ストレスのリスクは地域偏在性が高い。

図9: 1人当たりの再生可能な総水資源量(2013年)



出典: WWAP (2015), p. 12

世界の年間水需要は、経済成長率が平均的で効率が向上しないと仮定した場合、4兆5,000億 m^3 から2030年には6兆9,000億 m^3 の増加と予測されている。これは現在、確実に入手できる水の量より40%多い計算になる (Addams et al., 2009; WWAP, 2015)。その結果、「途上国を中心に世界人口の3分の1が不足率50%を超える流域に住むことになる可能性がある」 (Addams et al., 2009)。これが食糧価格に影響を与え、紛争につながりかねない。気候変動の進展がこうした問題をさらに悪化させるかもしれない (WWAP, 2015)。したがって、水不足は世界の多くの地域において深刻な懸念課題なのである。

海洋その他の水界生態系にも負荷がかかっている。例えば、海洋バイオマスは乱獲の脅威に晒されている。漁業資源のうち、61%が最大限度まで漁獲されており、29%は生物学的には持続できないような漁獲を受けており、乱獲状態にある (FAO, 2014)。これでは、一部の漁業資源が深刻な枯渇を招く恐れがある。

2.1.1.4 資源採取と利用の環境影響

第四の問題は、資源の採取・利用の環境影響についてである。十億トン、百億トンあるいはそれ以上の単位の原材料を毎年採取・利用し続けることは、環境汚染、土地劣化、生物多様性の喪失という形で深刻な環境影響を与える。

化石燃料の採掘・燃焼は、人為的な気候変動の最大要因である。世界の一次エネルギーの大半を占めるのが化石燃料、すなわち、石炭、石油、ガスである。化石燃料は気候変動以外にも、様々な環境影響の主要要因となっている。例えば、酸性雨を引き起こす酸性汚染物質（窒素酸化物 NO_x と硫黄酸化物 SO_x ）の排出、人間の健康に有害な粒子状物質その他の有害汚染物質の放出、「富栄養化」（湖沼などが栄養塩類によって栄養過多になる現象で、生態系に害を及ぼす藻の発生の原因となる）を引き起こす窒素の排出などがこれに該当する (UNEP, 2010)。

金属や鉱物の採掘も深刻な環境影響をもたらす。例えば、毒性化合物や酸性化合物が精錬所の煙突からの排出などにより水、土壌、空気に放出されると、人間の健康や生物多様性に悪影響を与える (UNEP, 2013b)。図7に示したように、農業投入量の大幅な



増加により農地の生産性は向上してきた。リン酸塩などの肥料投入材の採取は、重金属や放射性核種の放出による環境汚染を引き起こすことがある (BMUB, 2012)。窒素系やリン系の肥料の使用量が増えたため、富栄養化などの栄養塩類汚染の拡大、大気オゾンや微小粒子状物質の増加、生物多様性の喪失の一因となる地表水の酸性化、亜酸化窒素 (N₂O) の生産による GHG の排出などを招いている (UNEP, 2014a)。その上、肥料生産はエネルギー集約度が高く、エネルギー関連の CO₂ を発生させる。農薬や殺菌剤は 1990 年以降、使用量が大幅に増加しているが (FAO, 2016)、これも環境に悪影響を及ぼす。集約的な土地利用も、その土地そのものの「生産能

力」の低下や環境の質的劣化を招きかねない (UNEP, 1997)。土地劣化の主な原因としては、水侵食、風侵食、養分枯渇、湛水、灌漑による塩類化、地下水面の低下、化学肥料や農薬の過剰使用、土壌圧縮、有機物の喪失などがある (FAO, 2015b; Scherr, 1999)。FAO によれば、世界の土地の約 25% は高度に劣化しているか、急速に劣化しつつある。約 8% は劣化の度合いや速度が中程度である。36% は劣化の度合いは軽度か中程度であるが、劣化は進行せず安定している。土壌が回復し始めているのは 10% に過ぎない (FAO, 2011)。

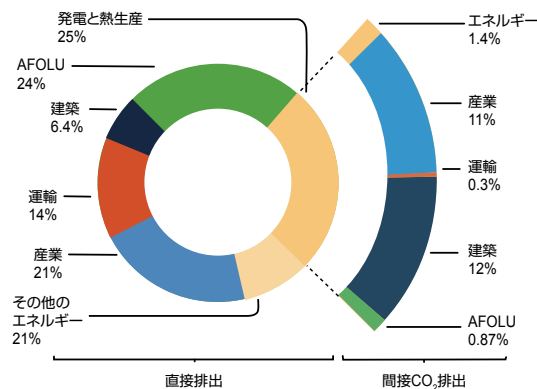
まとめると、以上で取り上げた四つの問題が SDGs の実現に大きな脅威となっている。資源効率性は、人類の発展に不可欠な資源の利用可能性を高め、世界中の人々全員が同資源を公平かつ安価に利用できるように能力を向上させ、同資源の基盤である生態系とその供給サービスを保護することによって、こうした脅威を軽減する際の核となる。

2.1.2 気候変動目標を費用対効果良く達成するには資源効率性の大幅な向上が不可欠

2015年にパリで開催された国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) の第21回締約国会議 (COP 21) において、各国政府は世界の気温の上昇を産業革命以前の水準と比較して 2°C 未満に抑えることを誓約した。気候変動に関する政府間パネル (IPCC) によれば、この目標が達成される「可能性が高い」シナリオは、「2100年に大気中の濃度が約 450ppmCO₂ 換算となるものである」。そのようなシナリオでは、GHG 排出量は 2050年までに 2010年よりも 40～70% 低くなければならず、GHG 排出量は「2100年にはほぼゼロ [GtCO₂ 換算 (Gt は 10 億トン)]⁶ かそれ以下に至らなければならない」(IPCC, 2014)。図 10 は人

為起源 GHG の経済部門別年間総排出量の内訳を示す。直接排出とは、各経済部門からの排出のことをいう。間接 CO₂ 排出とは、熱や電気などの中間燃料・エネルギーベクトルの生産（その後、上記の経済部門の一つで消費される）より発生する排出のことをいう。

図10: 人為起源GHG総排出量(Gt CO₂換算/年、Gtは10億トン)(経済部門別:エネルギー、産業、運輸、建築、農林業・その他土地利用(AFOLU))



出典: IPCC (2014)

⁶ 10億トン二酸化炭素換算

450 ppm のシナリオに沿った排出削減を達成するためには、エネルギーや土地利用のシステムにおける低炭素技術の大規模展開が重要となるだろう。このことは、IPCC 等が様々なシナリオにおいて詳細に検討している (IEA, 2010, 2012a; IPCC, 2014)。ただし、供給側の脱炭素化に加え、資源効率化を通じたエネルギー需要削減も極めて重要な役割を果たすだろう。IPCC によれば、「2100 年までに約 450 ~ 500ppmCO₂ 換算の大気濃度に達するとするシナリオにおいて、開発を阻害せずにベースラインシナリオと比べてエネルギー需要を削減するためには、効率性を向上させ、行動様式を変化させることが重要な緩和戦略となる (証拠: 確実、見解一致度: 高い)」(IPCC, 2014)。こうしたシナリオのうち、運輸、建築、産業の各部門におけるベースラインに対する需要削減の中間水準は、それぞれ 20% から 30% までの間である。最高 60% までの需要削減を示したシナリオもある (IPCC, 2014)。資源効率性の向上は、人類の発展と福利厚生に悪影響を与えることなく必要な需要削減を達成する上で極めて重要な戦略である。

この結論を踏まえ、国際資源パネル (IRP) は『気候変動に関する 10 の主要メッセージ (10 Key Messages on Climate Change)』をパリの COP 21

気候サミットに提出した。この文書は次のように述べている。「効率化と資源の無駄削減により資源生産性を向上させれば (略)、資源消費と GHG 排出を大きく削減することが可能となる。そのような方策は、資源アクセスの公平化など極めて望ましい社会的便益、ならびに環境汚染の軽減など非常に貴重な環境的便益ももたらす。したがって、経済成長と人間の福利厚生を資源消費から切り離すこと (デカップリング) は、気候政策と一体でなくてはならず、また、主要な課題でなくてはならない」(UNEP, 2015a)。

以上をまとめると、SDGs の実現と温暖化対策目標の達成という課題は、非持続可能な資源消費に起因する脅威の軽減に必要な資源効率性の喫緊性を浮き彫りにしているといえる。

資源効率性が経済成長率や雇用の拡大など、大きな経済的便益にもつながることを示す証拠もある。その証拠について、以下で示していく。

2.2 資源効率性向上の経済的機会

資源効率性向上の経済的機会には三つの側面がある。第一に、純コスト削減につながるような資源効率性を向上させる方法がある。第二に、資源の非効率な消費による環境の悪影響は大幅な外部コストを伴う。第三に、資源効率性の向上によるコスト削減は、マクロ経済に対して好影響をもたらすと考えられ、経済生産高と雇用の拡大が期待できる。

2.2.1 資源効率性向上の費用と便益

資源効率性向上の費用を算定した研究は少なくない。その中でも特に引用されることが多いのが Dobbs et al. (2011) である。この研究によれば、検討したあらゆる技術の実施による年間節約額は、個人投資家の視点で 2030 年には 2 兆 9,000 億ドルとなる。それらケースのうち 70% のケースにおいて、必要な資源効率性関連投資の収益率が年 10% 以上であった。必要な全投資総額 9,000 億によって「900 万から 2,500 万の雇用をもたらす可能性がある」(Dobbs et al., 2011, p. 12)⁷。

資源効率性への投資がコスト削減につながるなら、投資家はなぜそのような投資をしてこうした便益を獲得しようとならないのか、とすぐに問われるかもしれない。この問いについては、特にエネルギー効率について丹念に検討されてきたが、同じ議論は他の資源についても同様に成り立つ。Sorrell et al. (2004) によれば、費用対効果の高いエネルギー効率への投資がなされない要因は次の三点にまとめられるとしている。

- 市場の失敗 通常、財産権の未確立、正負の外部性、不完全競争ならびに非対称もしくは不完全な情報の結果とされる。
- 組織の失敗 組織の不完全な構造および方針の結果である⁸。
- 非失敗 組織および個人が効率化の機会を捉えないのは見えないコストが存在するためであり、合理的な行動であるとする。「一般管理費、生産活動の混乱、従業員の入退職・研修、情報の収集・分析・適用に関するコスト」(Sorrell et al., 2004, p.55) もこれに含まれるだろう。

⁷ こうした便益は2010年の市場実勢価格により算出している。化石燃料を中心とした資源の2010年以降の価格下落の分だけ、資源効率性の便益は減少する。ただし、資源効率性は企業や国の価格不安定性に対する脆弱性を低下させる機会となるし、他の方法よりも少ないコストで環境改善を図ることもできる。

⁸ While Sorrell et al. (2004)は、この関連において民間の組織を想定しているようであるが、組織の失敗は公的機関にも当てはまると思われる。



こうした障壁の有無、強度、継続性は課題ごとに異なる。したがって、資源効率性向上の取り組みでは、障壁を克服するための最適な方策を見極めるため、障壁の解明は個別に行うようにすべきである。その

過程において、資源効率性向上が各国のイノベーション能力を強化することが期待できるとする研究がある (Bringezu, 2015)。



2.2.2 外部性削減の便益

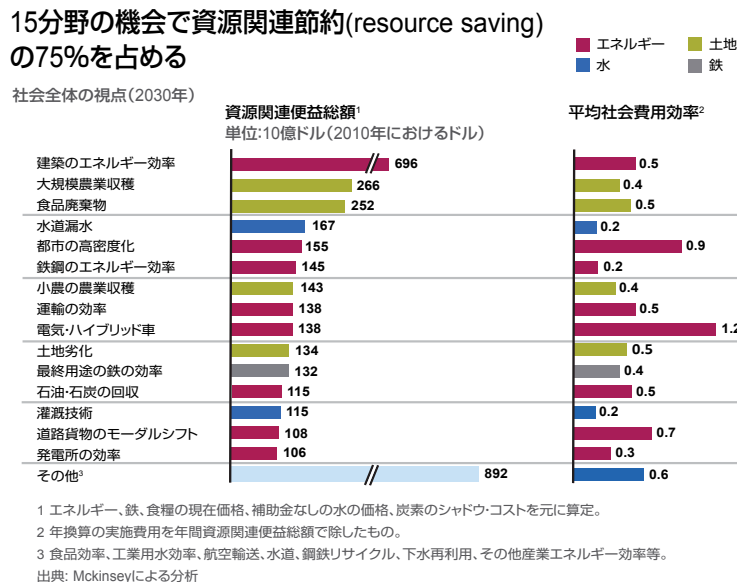
資源の採取・利用には負の外部性を伴う。負の外部性とは、市場取引において考慮されない環境等への負の影響のことをいう。こうした外部性を削減する資源効率施策は、経済効率を向上させる。それは、期待される他の便益（コスト削減等）を超える便益である。

資源消費の環境外部性は、資源消費に対する補助に相当するものとも言えるが、その規模は実に大きい。IMF (Coady et al., 2015) では、化石燃料の燃焼による気候変動と局地的な大気汚染に関する外部費用は 2015 年において約 4 兆米ドルと推定している。化石燃料への補助（補助金と外部性）を全廃すれば、世界が享受できる潜在的な経済的福利は 1.4 兆米ドルとされている。これは、2013 年における世界の GDP 総額の 2% に相当する。この大半は、世界人口の 50% 以上を占めるアジアが享受できると考えられる。補助撤廃によって得られる経済的福利はアジアの GDP の 6.9% に相当する (Coady et al., 2015)。求められる化石燃料の消費削減の多くの部分は、エネルギーサービス供給の削減よりもエネルギー効率の向上によって得られる可能性がある (IEA, 2012b)。

Dobbs et al. (2011) では、資源効率化によって社会が享受できる利益（節約分）は、炭素価格をトン当たり 30 米ドルと設定し、エネルギー税を撤廃し、エネルギー、農業および水への補助金は廃止すると仮定すると、個人投資家の視点で 2.9 兆米ドル、社会的な視点では 3.7 兆米ドルに上ると推定している。こ

の 3.7 兆米ドルの 90% については、投資収益率が 4% を超えるという。著者らが資源効率化の「機会」を分類した 15 分野でこの 3.7 兆米ドルの節約分の約 75% を占めることになる。これを示したのが図 11 である。なお、この 15 分野のうち、電気・ハイブリッド車だけは、便益より費用の方が高い。

図11: 資源効率の潜在可能性が望める上位15分野



出典: Dobbs et al. (2011), Exhibit 4, p. 14

注: 上の図において、「資源関連節約(resource saving)」とは資源効率化による金銭的な便益のこと。

2.2.3 資源効率性のマクロ経済的便益

資源効率性向上のマクロ経済的な影響に関する検討が様々なモデルを使って行われてきた。その全てにおいて、資源効率性向上がマクロ経済的な便益をもたらすことが示されている。エネルギー効率向上のマクロ経済的な影響に関するモデリング研究に関し、エネルギー効率化シナリオのマクロ経済的な影響を算出した IEA (2012b) の例がある。IEA の新政策シナリオと比較して、世界の GDP は 2035 年には 0.4% 多くなる一方、エネルギー効率化政策はエネルギー輸入国の利益となるが、エネルギー輸出国には不利となる。

また、別と例として循環経済についての報告書がある。これによれば、欧州の GDP について、現在の傾向が続けば 2030 年に 4%、2050 年に 15% 増加するが、循環化シナリオの下で建築、食品廃棄物、運輸の各分野において資源効率化の機会を生かすとこの数字がそれぞれ、11%、27% となるという (Ellen MacArthur Foundation and McKinsey Center for Business and Environment, 2015)。技術進歩が資源利用のコスト引き下げにつながるこれがその要因で

ある。ただし、このモデリングの実施に際し、この技術変革の達成や上記効率化の障壁の克服に伴う費用は一切考慮していないことに注意したい (Böhringer and Rutherford, 2015)。

欧州委員会の委託により実施されたマクロ計量モデルによる研究によれば、資源生産性を年率で約 2% から 2.5% 向上されることができ、EU28 カ国の GDP にも正の影響を与えるという (CE and BiolS, 2014)。ただしこの場合、GDP の伸びは資源生産性の向上というより、その実現に用いる政策メカニズム、すなわち環境税改革 (ETR) によるところが大きい¹⁰。類似のモデルを用いた別の研究によれば、資源効率施策は、2050 年における世界の GDP を 5.2% 押し上げる一方、非生物原材料の消費は 50% 以上減少する。これは参照シナリオよりも投資額が大きいことが主な原因である (Meyer et al., 2015)。

さらに、UNEP ではグリーン・シナリオと現状維持 (BAU) シナリオにおける投資動向の経済的な結果を比較している (UNEP 2011b)。この研究によれば、従来投資よりもそれに置き換わるグリーン投資の方が

¹⁰この分析では、「GHG排出量の削減に排出税などの環境税を用いるが、その税収は景気刺激策としても利用する」(CE and BiolS, 2014, p.46)ことを前提としている。

生産性が高いことが明らかとなり、およそ 2017 年以降は、BAU シナリオよりもグリーン・シナリオが経済成長率が高くなるという (UNEP 2011b, Figure 14, p.523)。

資源効率性の向上が生産の拡大につながるのであれば、他の条件が変わらないことを前提とした場合、雇用の拡大が期待でき、実際、一部の研究結果によって示されている。例えば、CE and BioIS (2014) の研究では、資源効率化のシナリオでは 2030 年までに EU の雇用が 1% 増加する (約 200 万の雇用純増) としており、Meyer et al. (2015) においても同様の結果が示されている。UNEP (2011b) によれば、世界の雇用数については 2020 年においてグリーン・シナリオが BAU シナリオよりも 0.6% (2,100 万) 少ないが、2050 年には 2,800 万多くなる。完全なマクロ経済モデルではなく投入 - 産出・モデルを用いたローマクラブの研究によれば、エネルギー・資源の効率を向上させる施策と再生可能なエネルギー・資源の導入により、研究で対象とした欧州 5 カ国において、失業数を最大で 3 分の 1 までに減少させることが可能としている (Wijkman and Skånberg, 2015)。

なお、資源効率性の向上が実現しても、その結果としての経済成長がいわゆる「リバウンド効果」によって資源消費と環境影響を増大させる危険があることに注意したい。これは、資源効率性によって節約できたお金がさらに同じ財・サービスの消費に費やされるか、他の財・サービスの消費に回る可能性があるためである。いずれの場合も資源消費の拡大につながる。リバウンド効果は、政策措置によって緩和させることが可能である (Herring and Sorrell, 2009)。効率化施策 (例えば資源や環境に対する課税) が対象とする資源のコストを押し上げる措置である。このことは、資源効率性向上の実質の目的が、資源の消費量またはそれによる環境影響を一定程度削減する (一定の炭素削減目標の達成を意図したエネルギー効率の向上など) ことにある場合に必要となる。また、グリーン成長や資源効率向上に関する出版物 (例えば、OECD, 2015; UNIDO, 2013; World Bank, 2015) において、課税対象を労働や資本から環境汚染や資源消費に移行させるという主張があることの説明にもなっている。上記のようなマクロ経済モデリングの結論では、リバウンド効果が資源効率化による消費とその環境影響の削減効果をある程度緩和することを考慮すべきである。



3. 資源効率性向上のための優良事例

前章で引用したモデリング研究は、その推定値の大きさは異なるものの、資源効率性向上が経済成長と雇用創出の拡大につながるという点では一致しており、また、環境便益を考慮しなくともその点は変わらないという研究が大半である。

本書のために独自で実施した資源効率性の経済モデリングでも、そのような傾向を確認している。この新しい分析では、統合的なマルチモデルフレームワー

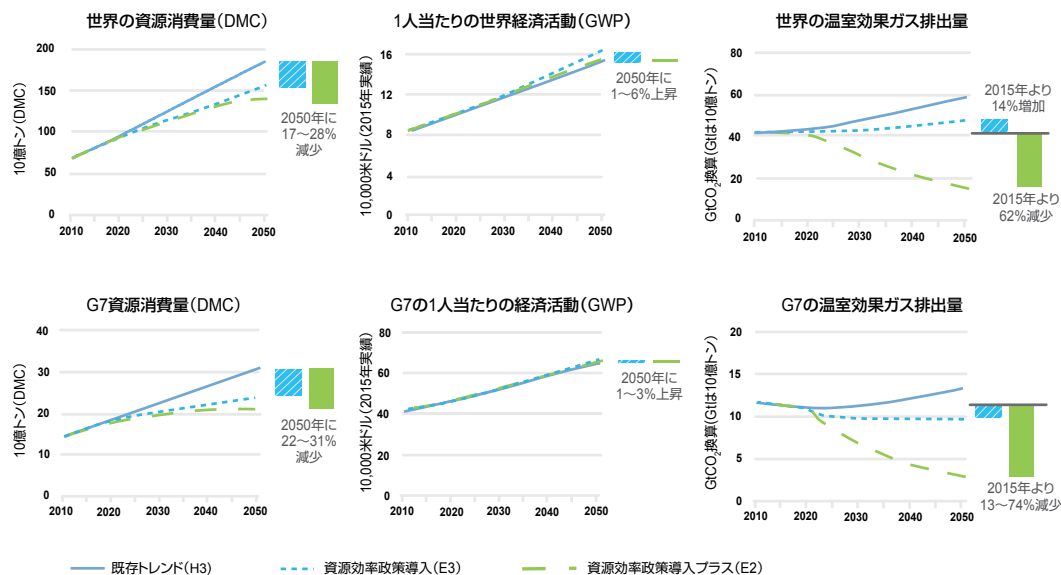
クを採用し、資源効率性向上と気候変動対策について野心的な行動を取った場合に、2050年までの世界の資源消費量、温室効果ガス排出量および経済活動に関する将来推移を検討した¹¹。その結果を図12の6つのグラフにまとめた。経済的にも魅力的な資源効率性を達成できる潜在的可能性は高く、経済成長しつつ環境負荷を低減させるウィンウィンな結果となっていることがわかる。このモデリングの予測によれば、現在の傾向が続けば、28%の人口増加、1人

¹¹ シナリオ予測はマルチモデルフレームワークを用いておこなった。これは、グローバルな応用一般均衡 (CGE) 経済モデル (GTEM) と他の二つのモデルを関連づけたものである。その二つのモデルとは、土地利用とバイオ燃料に関する詳細を把握するGLOBOIMと資源効率性の可能性を解明するストック・フローモデルであるMEFISTOである。これは、「Australian National Outlook」(Hatfield-Dodds et al. 2015)でも使われた、国際的に認知されている統合連環 (ネクサス) モデリング (integrated nexus modeling) のアプローチに基づいている。この分析アプローチの詳細やこのモデリングの実施結果は、本要約版に続いて近く刊行される完全版の国際資源パネル (IRP) 評価報告書 (UNEP, 2017) に掲載する。

あたりの資源消費量の71%増加によって、天然資源採取量は2050年までの34年間で850億トンから1,860億トンに増加する(左上のグラフ)。一方、資源効率化の政策や取り組みだけでも、2050年における世界の資源採取量は既存トレンドのベースライン

と比較して約17%低下する(左上のグラフ)。資源効率化を世界規模の意欲的な気候変動対策を組み合わせ実施した場合、世界の資源採取量は既存トレンドよりも28%低下する(左上のグラフ)。このシナリオでは、資源効率政策に伴う経済成長の伸びが意

図12: 世界全体とG7の資源消費量、経済活動およびGHG排出量の予測 (既存トレンド、資源効率政策の導入、資源効率政策導入プラス気温上昇を2°C未満に抑えるための気候変動対策、2010~2050年)



政策実施による影響は、資源効率政策導入(青の破線)と資源効率政策導入プラスのシナリオにおける2050年の値である。(2015年と比較、あるいは既存トレンドシナリオにおける2050年の値との比較)

出典: UNEP (2017)

欲的な気候変動対策の短期的な経済費用を相殺して余りあるという予測であり、2050年における世界のGHG排出量はベースラインと比較して74%排出が減少する。これは、2015年比約60%（右上のグラフ）、G7国に限れば74%削減に相当する（右下のグラフ）。

資源効率性の向上を支援する政策オプションを分析することは本報告書の範囲外であるが¹²、政策決定者をはじめとする利害関係者に対し、資源効率性向上を実現する実際の方法について貴重な情報・知見を提供することに変わりはない。以降、国際レベルや国家レベルのプログラム、新しい構想の実施、ならびに国や地方自治体、企業、市民およびコミュニティによる真摯な取り組みによる資源効率性向上を阻害する要因を除去する事例を紹介していく。本章では主に、物質、土地・土壌、水およびエネルギーという四大資源分類における資源効率性向上の優良事例を検討する。分野横断的、体系的、「資源連環（ネクサス）」課題の重要性を強調してまとめとする。

3.1 資源効率性の障壁の克服

本報告書の第2章では、資源効率性の向上（高い費用対効果が期待できる場合だったとしても）を阻む市場や組織の失敗および見えないコストが存在することを示した。しかし、適切に機能する市場によって表現される経済効率と物質の浪費抑制と物質価値の長期保持によって表現される資源効率性の根本的な違いから生じる多くの資源効率性を阻害する他の要因も存在する。

その中で最大の障壁は、物質コストや廃棄物発生コストが人件費や物流コストよりも相対的に低いことに起因する。設計目的を達成しつつ物質使用を減らし、製造段階における物質の無駄を抑制し、寿命を延ばして修理を容易にするよう部品や製品を設計することが可能である。しかし、それが現実には起きないのは、部品・製品の設計・管理・修理に関する人件費や物流費の追加分が、原材料費の削減分や新規購入の抑制効果に見合わないからである。例えば、建築部門では、建築資材が安全基準に照らしてオーバースペック

¹²この課題については、G7から依頼を受けた経済協力開発機構（OECD）が、国際資源パネルの科学的統合報告書「資源効率性—潜在的可能性及び経済的意味」を補完する政策ガイダンスを策定中である。

クになっていることが多い (UNEP, 2014b)。製品・部品の製造過程において原材料の無駄が発生するのは、金属板などの規格化された中間生産物から部品を切り出すためであり、元の原材料の半分近くが廃棄物となることもある。多くの場合、「意外なことだが、原材料をオーバースペックにすることは、それが人件費の抑制につながる限りにおいて、経営的に合理的な判断であり、克服が難しい課題である」(Allwood, 2014)。

日常生活においても、比較的新しい物であって、修理が可能な場合であっても修理するより捨てる方が安上がりとなる例は極めて多い。そのような資源非効率な結果は、物質のコストと設計、物流、修理のコストの大きさを比較して得られた経済効率の結果を反映した状況であることが多い。

このような状況を改善するためには、例えば、労働税を引き下げ、資源税を引き上げるなど、相対的な人件費・原材料費を直接変える公共政策、あるいは、部品・製品の原材料について、その使用期間や使用後における価値を高めるような公共政策が必要となる。そのような政策は本報告書の範囲を超えるが、それ

なしには経済全体において資源効率性の大幅な向上は望めないことに留意すべきである。

3.2 資源効率性向上に向けた取り組み・プログラム

資源効率性向上に向けた国際的なプログラムや取り組みは多いが、国レベルになるとその数はもっと増える。本報告書では、公共政策や企業と市民による真摯な取り組みが実現できることをの例として重要な取り組みをいくつか取り上げる。

資源効率性向上に向けた国際的なアプローチのうち、特に体系的なものの一つが持続可能な消費と生産 (SCP) の概念である。2012 年のリオ+ 20 では、この生産消費形態の変革を実現するメカニズムとして、持続可能な消費と生産に関する 10 力年計画枠組み (10YFP) が採択された (UN, 2012)。10YFP プログラムはテーマ別の分野に沿って構成されており、各分野は SCP 形態への変革を推進する政策、自主的な手法、管理実務および広報・啓発活動の実施能力構築をねらいとしている。資源効率のクリーナープロダクション (RECP) も国際的なプログラムの一例



である。これは、産業の天然資源への依存度を軽減し廃棄物と有害排出物の生成を削減しつつ、産業生産性の向上を図るものである。国レベルのクリーナープロダクションセンターが現在 60 カ所ほどあり、途上国や市場経済移行国の多くで RECP の実践を目指している。活動例としては、産業廃棄物の最小化、環境イノベーション、エコ工業団地、環境に配慮した技術への移行、責任ある生産と安全かつ斬新な化学物質管理（ケミカル・リーシングを含む）、新しいビジネスモデル、水スチュワードシップ、ライフサイクル型アプローチ、製品と組織のフットプリント、エコラベル、企業報告などが挙げられる（UNEP, 2016a; UNIDO and UNEP, 2015）。

「循環経済」の考え方も、中国、欧州委員会、日本をはじめとして国際的に広く推進されている。近年の例では、エレン・マッカーサー財団の取り組みがある。同財団では、循環経済を「回復力・再生力を有するように設計され、また、製品、部品、原材料の有用性と価値をあらゆる段階において最大限に高め、技術的循環と生物的循環を区別する経済」と定義しており、いくつかのプログラムにより活動を行っている。こうしたプログラムは、企業、政府・自治体、都市、大学等を結集させ、循環経済への移行を加速させるとともに、循環経済に関する能力構築を目指している（Ellen MacArthur Foundation, 2016）。

中国は 2008 年、循環経済促進法を採用した。同法は、生産と消費において物質の使用の削減およびリサイクルと回収の最大化をねらいとしている。中国は同法を施行する一環として、数多くのプログラムやプロジェクトを開始している¹³。

欧州委員会は 2015 年、資源がより持続可能な方法で使用される循環経済へ欧州の企業や消費者を移行させることを促進する「循環経済政策パッケージ」を採択した。これはリサイクルと再利用を促進する規制とインセンティブの組み合わせであるが、経済成長、雇用創出、投資および社会的公正を促進しつつ、環境保護と気候変動緩和の推進を想定している (European Commission, 2015)。

多くの国では、資源効率政策を資源管理の優先順位構造 (ヒエラルキー) に沿って構築するのが有益とされている。その中でも最も影響力が大きいもののひとつが「3R」(リデュース、リユース、リサイクル) である。G7 との関連で言えば、3R の概念は資源効率戦略において重要な役割を果たしてきた。2005 年 4 月の東京において開催された 3R 閣僚会合におい

て、資源と物質の利用効率化を推進する 3R イニシアティブが開始された (Moriguchi, 2007; Takiguchi and Takemoto, 2008)。2008 年には、日本が G8 の議長国を務める中、神戸 3R 行動計画が採択された。

3R の概念を基礎とし、拡大させることが可能なことは言うまでもない。各「R」を様々な活動をまとめる言葉とみなすことができる。日本では、循環型社会 (SMCS) 政策における 5 段階の取り組みを打ち出した。これを優先順位が高い方から列挙すると、リデュース、リユース、リサイクル、エネルギー回収、最終処分となる。EU の廃棄物枠組み指令においても、同様の廃棄物管理の優先順位構造が採用されている。

神戸 3R 行動計画は、知識を共有するとともに大企業、中小企業その他の関連利害関係者と連携して資源効率性の機会、実践およびイノベーションを推進する場として 2015 年に発足した「資源効率性のための G7 アライアンス」のための基礎ともなった (G7, 2015)。

¹³ 中華人民共和国循環経済促進法 http://www.fdi.gov.cn/1800000121_39_597_0_7.html

3.3 資源効率化の優良事例

本節以下では、優良事例と資源効率性向上の対策をまとめる。資源の分類別（物質、土地・土壌、水、エネルギー）に検討するが、その相互間の極めて重要かつ複雑な相互作用、シナジー効果およびトレードオフを見落とさないように留意する。

3.3.1 物質

物質の分野において、現在まで政府・自治体の戦略や目標を通じて政策的関心の大きな部分はリサイクルに向けられてきた。ただし政府・自治体では、資源管理ヒエラルキーの上位に軸足を移動することのメリットに対する認識が高まっており、また、物質効率政策を固定的な目標ではなく、転換のための通過点として捉えるようになってきている。需要削減が物質管理戦略の最優先事項であることが望ましい。エネルギー消費削減と物質の採取・加工による環境影響の低減につながるからである。ドイツの経験は、物質効率の向上が、指導を通じて、企業によっては短期的な利益になることを示している。ドイツ政府の物質効率庁（demea）では、中小企業が原材料の節約可能性を検討できるよう、定量的な手法であるマテリアルフロー分析を提供している。平均で年間企業売上

高の 2.3% の節約となり、小さい企業ほどその割合は高かった。また、総じて投資は 13 ヶ月以内に回収された（UNIDO, 2013）。

革新的な設計アプローチを改良すれば、製品製造においてさらなる原材料節約が期待できる。この点において、3D プリンティングの進歩は重要な動きであるかもしれない。3D プリンティングは、高度にカスタマイズした部品を仕様通りに無駄なく製造することができる。ゼネラル・エレクトリック社は、この方法でジェットエンジンのノズルを生産し、大幅な原材料の節約と部品重量の 25% 減を実現している（Despeisse and Ford, 2015）。コンピュータ化も、幅が決まったシート上での余白を減らす配置の設計に威力を発揮し、部品製造の過程において原材料の無駄を少なくすることができる。こうした技術は繊維業で使われているが、金属にも採用されつつある（Allwood, 2014; UNEP, 2014b）

企業間のシナジー効果により相互利益も期待できる。例えば、英国の Abbey Steel 社は原材料シートの切れ端を有効活用している。自動車の車体の製造業者から打ち抜き加工のスクラップを購入し、切断して形を揃えて小さな部品の製造業者に販売している



(Allwood, 2014)。これは産業共生¹⁴の一例である。

産業共生の概念は、日本のエコタウン事業の根幹でもある。現在では、日本全国で26ヵ所エコタウンが設置されている。この政府主導の事業の目標は、埋立地不足の問題が深刻化する中で埋立処分となる廃棄物を削減するとともに、地域産業の再生を図ることであった。そのため、ある産業工程で発生した廃棄物を別の産業工程で活用することが主眼となった (Van Berkel et al., 2009)。

例えば、川崎エコタウンでは「市内で発生する家庭ごみ、事業系ごみおよび産業廃棄物を有効活用し、市内の産業が利用できるような原材料（例、セメントや鉄鋼製品）に再生利用することを主眼としている」(Van Berkel et al., 2009)。川崎市におけるリサイクル活動の具体例としては、紙やPET¹⁵ボトル等の再生利用のほか、プラスチックを溶鉱炉の還元剤やコンクリートの型枠、アンモニア生産に再生利用する例がある。Dong et al. (2014)によれば、川崎市の産業共生の取り組みにより、廃棄物の削減に加えて、鉄鋼、セメント、紙の製造を主な排出源とするライフサイクル炭素排出量を約14%削減できた。

¹⁴ 産業共生の標準的な定義はChertowによるものである。「産業共生とは、従来は個別の産業である複数の産業が、物質、エネルギー、水および副産物の物理的な交換により競争上の優位を獲得するための集団的アプローチのことをいう」(Chertow 2000, p.313)。産業共生の成功事例は数多く存在する。それは、国家産業共生プログラム(NISP)の取り組みを通じたものである。NISPは英国発祥だが、現在は25カ国で展開されている(NISP 2009および<http://www.nispnetwork.com/media-centre/case-studies>参照)。

¹⁵ PETとはpolyethylene terephthalate(ポリエチレンテレフタレート)の略。



26のエコタウンには、政府の補助金を受けて61のリサイクル施設が整備された。合計処理可能量は年間200万トン近くに達する。Van Berkel et al. (2009)によれば、補助金を受けたリサイクルプラント1に対して1.5の補助金を受けないリサイクルプラントが民間企業によって建設された。産業共生「エコシステム」の整備を図る政府の取り組みは、民間主導による環境産業の発展のきっかけとなることがうかがえる。

産業共生は他の国においても定着している。中国については、Yu et al. (2014)がアルミ生産を中心とした様々な加工プラントのクラスターを擁する信発集団について報告している。このクラスターでは、11も

の産業共生の連関が存在する。例えば、発電所から排出される石炭灰を利用して煉瓦が製造されており、カーバイドスラグはアルミナ製造における消石灰の代用として利用されている。また、カルシウムカーバイド工場における燃焼過程で発生する一酸化炭素のオフガスはエネルギーに利用されている。さらに、アルミナ製造で発生する赤泥を建築材として再利用している。炭素排出量の11%削減につながっていると推定されている (Yu et al., 2014; Yu et al., 2015)。

Park et al. (2016)は、韓国におけるエコ工業団地 (EIP) 事業の第一フェーズ (2005～2010年) について報告している。この事業では、産業の垣根を

越えた製品、エネルギーおよび水の再利用を実施しているが、47のプロジェクトで、エネルギーの節約と排出量と排水量の削減とともに、廃棄物を合計47万7,633トン削減したという。さらに、エネルギーと原材料の節約によるコスト削減が約9,700万米ドル、副産物の販売による収益が9,200万米ドルに達した。副産物による収益を目指すプロジェクトの方が、物質やエネルギー効率化による節約を目指すプロジェクトよりも収益率が高い傾向が見られ、それは、後者の方が概して多くの先行投資を必要とすることが理由であるという (Park et al., 2016)。

再製造の考え方も注目を集めている。再製造とは、製品から部品を解体して「新品と同等の」品質を有する部品や製品に製造し直すことである。再製造を阻害する要因としては、中古品と認識する公衆の目、一度廃棄物とされた物質が再びサプライチェーンに進入することを禁止する規制、再製造製品に対する市場アクセスの制限などが考えられる。

Allwood et al. (2011) は、例としてシリンダーブロックの再製造、タイヤの製造、電化製品、容器包装、自動車部品の再製造などを挙げている。これについて次のような所見が述べられている。「再製造の成功例は、垂直統合が進んだ企業で多いようだが、それが

原因か結果なのかははっきりしない」。これまでの実績から再製造に成功する可能性が高い製品は、「成熟した製品の寿命の終焉期で、技術開発が落ち着いた市場であることが一般的である」(Allwood et al., 2011, p. 370)。このことが、再製造サイクルが完結する前に部品余剰になることを防いでいる。垂直統合や成熟技術と再製造との相関が強いことから、廃棄物規制に加えて、考えられる障壁は、製品市場やそのサプライチェーンにおいて、主体が多く、変化が速いという性質にあるのかもしれない。この将来有望な分野をさらに発展させるためには、業界内部や業界の垣根を越えた多様な主体（競合関係にある主体を含む）間の連携やコミュニケーションが極めて重要ともいえる。

本節で議論した多くの物質効率化への斬新なアプローチの多くは新しいビジネスモデルの出現により促進されるかもしれない。リースなどの製品サービス制度は重要かつ広く展開できるモデルと言える。一般的に言えば、リースモデルは、消費者が個々の製品を購入・所有するのではなく、企業と契約を結んでサービス提供の受けるものである。契約が継続されると、より資源効率的方法で維持管理や交換が可能な製品を設計・製造するインセンティブが強く働く。リースモデルの例は、カーシェアリング、建築設

備、オフィス用品に見られる (UNIDO, 2013; WRAP, 2016a)。産業レベルで注目される例には、ケミカル・リーシングがある。ケミカル・リーシングにおいて製造業者が販売するのは化学物質そのものではなく、その機能—化学物質で洗浄する物の個数やコーティングする面積等で算定—である。したがって、製造業者の責任は拡大され、化学製品の「全ライフサイクル管理をも含むうることになる」(UNIDO, 2013)。この種の事業の例を Erbel (2008) が報告している。これは、オーストリアの金属洗浄機械メーカー PERO 社とドイツのデュッセルドルフにあるダウ・ケミカル社の子会社 SAFECHEM 社の共同事業である。

この二社は契約により、オーストリアの自動車部品メーカー Automobiltechnik Blau 社に化学洗浄サービスを提供する。このモデルは、コア・コンピタンスではない化学洗浄の外部委託を可能にしている。契約が安定していたため、請負業者は高品質の洗浄設備に投資をすることができた。このような投資は先行費用がかさむため、通常の市場の状況では難しいが、長期では収益が期待できる。この試験的な事業は、二年次には黒字になると予測された。このような手法によって、エネルギー消費の約 50% 削減、溶剤の使用量では約 70% の削減が可能となった (Erbel, 2008)。

リサイクル率は、行政面、経済面および技術面の理由から国によってばらつきが大きい。国によっては、技術に恵まれなかったり、その費用が高かったりすることが障壁となる。リサイクル率は物質の種類によっても異なる。それは、当該物質の廃棄物からの回収が容易かや、その物質の価値によるところが大きい。鉄、亜鉛、銅、アルミなど、一部のバルク金属のリサイクル率はすでに高く (60 ~ 90%)、金、銀、白金などの貴金属でも高い (50 ~ 70%) (UNEP, 2015a)。バルク金属は、掘削した原料から生産するよりもリサイクルした方が、エネルギー便益が著しく高い。鋼鉄、銅、アルミのエネルギー消費量は、一から生産する場合と比較してリサイクルした場合は、それぞれ 60 ~ 75%、84 ~ 88%、90 ~ 97% 低下する (UNEP, 2013b)。しかしながら、UNEP による研究 (2011c) によれば、調査対象とした約 60 の金属 (元素) のうち、使用済みリサイクル率が 50% を超えているのは 3 分の 1 未満で、34 の金属では 1% 未満であった。リチウム、ガリウム、ゲルマニウム、インジウム、テルルなどの特殊金属も 1% 未満のリサイクル率であった。こうした特殊金属は、個々の製品に極少ない量が使われることが主であり、その製品はリサイクルを目的とした分解に適した設計になっていないことが多い。また、貴金属とは異なりそれ固有の価値を有していないため、回収・抽出・リサイ

クルに対する経済的なインセンティブが弱い。こうした金属は、使用後における分解・リサイクルを視野に入れて製品を設計すれば、リサイクル率の向上が期待できる。特殊金属のリサイクルが今後ますます重要になることが予測される。その多くが、太陽光発電の電池、風力タービン、蓄電池などの低炭素技術において重要な役割を果たしているためである。

資源効率化のインセンティブは、廃棄物管理にとっても重要である。例えば、1990年代の英国においては廃棄物の大部分が埋立処分されていた。回収費用やリサイクルのためのインフラにかかる費用を考慮すると、埋め立てが廃棄物処分でもっと安い方法であったためである。英国は1996年、活性廃棄物についてトン当たり7ポンドの埋立税を導入した。これ以降、税率は段階的に引き上げられ、2015年にはトン当たり82ポンドに達した。リサイクル率も大きく上昇し、家庭ごみについては2014年に45%近くに達した¹⁶。埋立処分される廃棄物の割合は2012年で26%であった¹⁷。廃棄物管理のあり方がこのように大きく変わった背景には他の政策の影響も間違いなくあるだろ

うが、この埋立税が果たした役割は極めて大きいと考えられる。

Zero Waste Europe は、北イタリアの二つ州におけるそれぞれの事例を報告している。カパンノリ町とトレビーズ市では、リサイクルを目的とした家庭ごみの分別の割合が80%を超えている。いずれの自治体でも、リサイクル可能なごみを多くの種類に分別している。ごみ処理有料制 (pay as you throw) により、リサイクルされない廃棄物の重量に応じて課金が行われるため、分別のインセンティブが生まれる。それぞれの自治体では、コンポストも奨励するインセンティブも用意されている。透明性の確保と意思の疎通も、こうした制度の成功において重要な役割を果たしている。カパンノリでは、住民からの意見聴取が広範になされ、制度の導入に先立って十分な説明がなされている。トレビーズでは、オンラインのデータベースが整備されており、回収されたものの行方を確認したり、課金の仕組みを理解することができるようになっている。(Simon, 2015; Van Vliet, 2013)。

¹⁶ https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/496508/Digest_waste_resource_2016_v2.pdf

¹⁷ https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/487916/UK_Statistics_on_Waste_statistical_notice_15_12_2015_update_f2.pdf



3.3.2 土地・土壌

2章で触れたように、土地劣化が現状のまま進めば、農耕地の多くが失われ、耕地面積の拡大が必要となりかねない。したがって、劣化した農地を回復させ、現在は安定しているかや劣化した土地を土壌栄養分を保持する農法によって保護することが、資源と環境への影響を削減しつつ農業全般の生産性を向上させるための重要な方策となる。UNEP (2014a) によれば、このような資源効率性の方策を組み合わせれば、図8に示した世界の耕地面積の総（グロス）拡

大分 320 ~ 849 Mha を約 160 ~ 320 Mha ほど削減できるかもしれない。

高投入農法は、環境影響が大きくなる傾向があり、そもそも低所得の農家には手が出ない。Monteith (1990) によれば、持続可能な土地管理方法とは、「投入量が増加しなくとも生産量が減少しない」方法のことをいう。この究極の目標を目指す統合的アプローチとしては、農業生態学的アプローチ、保全農業、有機農業、アグロフォレストリー、統合的作物家畜システムなどがある(FAO, 2011)。例えば、Altieri(2002)

は持続可能なアグロエコロジーの原則を次のように規定する。

- 利用できるバイオマスはすべて当該の農業系内でリサイクル・再利用する。
- 土壌、土壌有機物質、生物的活動を強化することで植物を育てる。
- 直接日射、強風、浸食力のある水流から保護することにより、土壌喪失を最小限に抑える。
- 多様性を最大限に引き出し、レジリエンスを強化する。
- 生物学的な相互作用と相乗効果を高める。

上記原則の具体的な実践内容は、状況等によって異なる。植物多様性は土壌の健康、養分循環および生物多様性を向上させることがわかっている。例えば、マメ科の植物を他の作物と一緒に植えると窒素固定が強化される。作物とともに木を植えると、窒素固定により土壌肥沃度が向上する。これは、土壌有機物が増えるとともに、木陰で草を食べる動物の糞が肥料となるからである。ザンビアでは、16万の農家が窒素を固定させる機能を有するアカシアの木を作物の間に植えた。アカシアの木は雨期の初めに葉を落とし、作物が生育する間は休眠に入る。この期間中は、作物は光、養分、水をめぐってアカシアの木

と競合することはない。ザンビアの保全農業ユニット（Conservation Farming Unit）によれば、トウモロコシの平均収量はアカシアを植えていない畑で 1.3 t/ha、植えた畑で 4.1 t/ha であった（FAO, 2011）。

ゼロ・不耕起農法は、土壌保全や水分喪失抑制に効果がある。利用できるバイオマスをすべて再利用することは、統合的作物家畜システムにおいて特定の利益をもたらす。すなわち、家畜の糞を肥料として土に返して肥沃度を高める一方、作物残渣が家畜の飼料になる（FAO, 2011）。

劣化した土地の回復は資本集約的で、土地の所有権が不明確な地域や土地の農民が必要な投資を行えるだけの資本を持っていない地域では、それが障壁にもなりうる。しかし、上記に掲げた原則の多くについては、大がかりな資本投資を必ずしも必要としない。とはいえ、それぞれの状況に応じて適切な対策を組み合わせて実施して相乗効果の最大化を図るための知識は必要である。つまり、もう一つの大きな障壁は情報と教育の欠如ということになる。UNEP(2014a)によれば、「管理実務の向上に関する研究結果を早急に農家に普及・適用するためには支援・発展教育を拡大させる大きな必要性がある」。

農法を改善する数多くの取り組みは、農家間における知識の共有化と意思疎通の改善を主眼としている。多くの場合、資本集約度の低い介入により改善が見られる。例えば、タンザニアとマラウイで実施されたプロジェクトでは、知識の普及には農家間のネットワーク作りが重要であることが示された (Majule, 2011)。農家が地域の専門家の助言を求めることができる「植物診療所」が、これまでに 14 カ国で設立されている。Boa and Bentley (2009) によれば、植物診療所の助言を受けた農家の所得は 1 ha 当たり平均で 801 米ドル増加したという。中米では、農家から農家への (Campesino a Campesino) ネットワークも知識共有化の手段となっている (UNEP, 2014a)。

持続可能な方法で生産を増加させる最も費用対効果の高い方法は、効果的な土地利用計画によって土地利用形態を土地のポテンシャルとマッチングさせることであることが多い (UNEP, 2014a)。これにより、土地劣化の抑制によって土地回復の必要性を省略するとともに、最も高い金銭的な収益が望めるところに集約化や気候変動適応に対する投資を集中させることができる (Herrick et al., 2016)。

集約度の低い農法には、環境面で様々な利点がある。在来農法と有機農法を比較した Hülshbergen and

Küstermann (2007) は、GHG 排出量は在来農法の方が 3 倍多いとする。ただし、先進国では市場からの要求や農家の少ないマージンにより、高投入農法にインセンティブが傾きがちである。この点における有機農業の課題は、土壌の種類やその他の条件によっては収量がかかなり低くなることである (Seufert et al., 2012)。しかし、Ponisio et al. (2014) によれば、多期作や輪作などの多角農法によって、有機農法と従来農法との収量の差を大幅に縮めることが可能である。

EU との関連では、Buckwell et al. (2014) も「投入材の組み合わせや管理の方法に影響を与える付加知識」、簡単にいえば「ヘクタール当たりの知識増加」の必要性を説いている。Buckwell et al. (2014) 報告書は、英国の 20 の農場を食糧生産の排出原単位、炭素フットプリント、硝酸塩の水への流出量、アンモニアの大気への放出量、生物多様性の 5 つの指標に基づいて比較した Elliot et al. (2013) の研究を紹介している。これによると、1 つ (混合農場) の農場がすべての指標で良好な値を示し、その他 3 つの農業が 3 つ以上の指標が良好で他の指標は中程度の値を示した。この研究が示したことは、第一に、農場の成績を計測することは可能であり、成績向上の指針となり得ることである。第二に、高い食糧生産性

を達成しつつ、様々な環境指標について良好な成績を収めるとは可能であることである。Buckwell et al. (2014) では、これを「持続可能な集約化」と称している。

土壌養分の喪失は、食糧チェーンからの廃棄物やその他廃棄物から栄養素を回収し、土壌に再還元する取り組みにより、緩和することができる。Senthilkumar et al. (2014) によれば、フランスの場合、リンのリサイクル効率は全ての廃棄物ストリームを通じて 51% であるという。BMUB (2012) によれば、ドイツ政府は下水の汚泥、廃水、スラリー、発酵残渣などの廃棄物からのリンの回収率を高める方策を検討している。産業の諸過程においてもリンが大量に失われている。日本の場合、製鋼によって生成される脱リンスラグに含まれるリンの量は、リン鉱石の総輸入量に匹敵する。このスラグからリンを回収するリンの新しく重要なフローを生み出しうる技術が提案されている。(UNEP, 2013c)。

健康、気候および土地に対する負荷の問題は、食肉の過剰消費や過剰カロリー摂取を減らせば改善することができる。この分野での進展を阻害する要因としては、肉中心の食事に対する嗜好や支払い能力の拡大、大量生産による食肉の低価格、さらには一般

的な習慣や文化的な要因が挙げられる。しかし、省資源型の食生活は個人の健康にも大いに有益であることが多いため、ウィンウィンの可能性が期待できる。特に、食肉の消費は大半の先進国において健康と言える水準を超えている。EU では、世界保健機関 (WHO) が推奨する水準よりも蛋白質の摂取量が 70% 高く、飽和脂肪では 42% 高いのが現状である。赤肉の消費に至っては、世界がん研究基金が推奨する限度値の 2 倍を超えている (WCRF and AICR, 2007; Westhoek et al., 2015)。

この問題に対しては、栄養ガイドラインの整備が定石であろう。例えば、北欧の公的な栄養推奨基準では、健康上の理由はもちろんのこと、環境上の理由からも食肉過多の食生活を改めるように強く指導している (Fogelholm, 2013)。健康な食生活に対する消費者の理解を深めることを目的とした自主的な啓発活動もなされている。「Livewell for Life (人生いっばい良く生きる)」事業 (WWF and Friends of Europe, 2015) はその一例である。この事業では、フランス、スペイン、スウェーデンそれぞれの料理文化に合わせた健康的な食事の組み合わせを提案している。同事業が推奨する国別の「LiveWell plates (良く生きるための料理)」が普及すれば、栄養面で有益であるだけでなく、食品サプライチェーンからの GHG 排出量

を2020年までに25%削減することができると推計されている。こうした取り組みは効果があるのか、そうであればどのような効果があるのか、についてはほとんど情報が無いのが現状である。それでも、より資源効率的な食事による健康改善という共便益の可能性は非常に大きい。

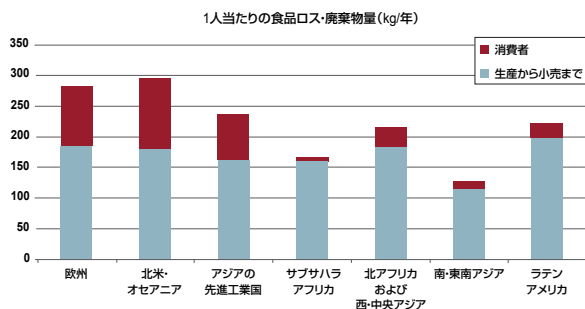
食品廃棄物の削減も資源効率化の大きな機会である。世界の各地域における1人当たりの食品ロス・廃棄量を消費段階、消費前段階別に示したのが図13である。先進工業国では、消費者による廃棄量（消費者が不要な食品を捨てる量）が多いことがわかる。サプライチェーンにおける廃棄量も先進工業国では多い。その理由は規模の経済と「スーパーマーケット化」プロセスである。いわば、基本的な食品品質基準に

加えて高度に均一化された外見上の基準を満たした商品を常に揃えておくことを重視したシステムの副産物といえる。

コートールド公約とは、英国の廃棄物資源行動計画（WRAP）が取りまとめた、廃棄物の削減を目的とした小売業者やサプライヤーの協定である。第2フェーズ（2010～2012年）では、小売業者と連携して容器包装の削減と食品の賞味期間の拡大を図った。この期間内において、食品の容器包装を10%、家庭の飲食物の廃棄を3.7%、サプライチェーンにおける廃棄を7.4%、それぞれ削減したという（WRAP, 2016b）。

サプライチェーンにおける廃棄は途上国でも発生して

図13: 世界の各地における1人当たりの食品ロス・廃棄物量(消費段階、消費前段階別)



出典: Gustavsson et al. (2011)

いる。Feedback (2015) は、ケニアの輸出園芸部門における食品のロス・廃棄の促進要因について報告している。外見上の仕様に合わせるために食べられる食品まで廃棄せざるを得ないこと、市場が不安定なために作物を栽培した後に注文がキャンセルになること、輸出製品の国内市場がないことなどがその要因である。Feedback (2015) は、外見上の基準を緩和するだけで効果があることを示す例を紹介している。スーパーマーケットは、例えばいんげん豆について、容器包装に均一に収まるように特定の長さであることを求めるのが普通だが、そうすると、農家はさやの長い品種を栽培し、「頭と尾」の部分を切り落として基準の長さにしなければならない。この場合、平均で可食部分の 30-40% が無駄になるという。しかし、ある大手の仕入れ業者がこれまでの方針を改め、「頭」の部分だけを切り落としたいんげん豆を仕入れるようになったところ、ケニアの輸出業者は、無駄を 3 分の 1 に減らすことができた。「頭」の部分を切り落とすことも廃止し、さらには他の商品についても外見上の基準を緩和すれば、さらなる益が得られるだろう。

途上国のサプライチェーンにおける廃棄は、劣悪な保存や加工の状態にも原因がある。そのような場合、比較的簡単な対策で資源効率性を大きく高めることも可能である。スリランカのラスケレッフ乾燥ココナ

ツ工場では、UNIDO の RECP プログラムの支援を受けて、様々な物質効率化の方法を発見した。例えば、搬入口の床にゴムのカーペットを敷いて搬入・搬出時にココナツが損傷を受けて廃棄処分にならないようにした。また、外皮を除去する過程において無駄をなくするための従業員啓発、洗浄水の削減、ボイラーの燃料への外皮の再利用を進めた。こうした方法により、バイオマスの無駄とエネルギー消費を大きく削減することができた。5,000 米ドル未満の投資で総額 20 万米ドルの節約に成功したのであった (UNIDO, 2013)。

3.3.3 水

水不足が懸念課題になっている国や都市を中心に、水と GDP の絶対的および相対的なデカップリングの事例が報告されている。例えばオーストラリアでは、2001 年から 2009 年までの間に GDP が 30% 伸びたが、水の消費量約 40% 減少した。水資源の効率化と需要削減を費用対効果の高い方法で成し遂げ、コストをほとんど必要としなかった。(UNEP, 2014b)。

取水量の約 70% は農業用水であるため、灌漑を効率化する技術は節水効果が高い。そのような技術は農業生産高増加という共便益も生み出しうる。スプリンクラー灌漑や点滴灌漑などの灌漑技術は伝統



的な越流灌漑とは異なり、水を必要なところに直接供給する形を取るため、水消費量削減と収量増を両立させることができる。点滴灌漑は、穴の開いた管を地上または地下に這わせて水を供給するものである。水は穴から少しずつ出て作物の根に直接供給される (Rejwan, 2011)。Dobbs et al. (2011) によれば、スプリンクラー灌漑では水消費量が 15% 減、収量が 5 ~ 20% 増となり、他方、点滴灌漑では水消費量が 20 ~ 60% 減、収量は 15 ~ 30% 増となる。しかし、この数字は土壌、作物、気候、灌漑の運用方法によって変わってくる (van der Kooij et al., 2013)。点滴灌漑の維持が難しい地域も多い。土壌と水質の問題が絡む塩類化がその原因である (Hanson and May, 2011)。

イスラエルでは、水供給に対する阻害要因が大きい
ため、様々な節水イノベーションがなされてきた。同
国の生活排水の約 84% が灌漑用水として再利用さ
れている。このこともあって、農業用水の需要の約
52% は上水以外の水 (生活排水に塩水を混ぜたもの)
で賄われている。イスラエルは、農業部門において
点滴灌漑を広範に採用しているが、必要なだけの
水を植物の根に直接供給するコンピュータによる管理
システムによって制御されている。節水対策が部門
横断的に普及しているのは、水利用者の種類別に様々

なインセンティブとペナルティによるところが大きい。
農家に対しては水割当制度を実施し、上水の利用を
厳しく制限する一方、節水に対しては報奨を行って
いる。各家庭に対しては、段階的な水道料金体系とな
っており、利用量が少ないと料率も低く設定されて
いる。また、水量の計測も詳細までわかるようになって
おり、利用者は利用量を監視することができる。農
家が非上水を灌漑に利用すると、低い課金が適用さ
れる。インセンティブとペナルティは水道事業者にも
用意されており、回避可能な損失に対して課金がな
されている。水道事業者は漏水率抑制のため、水圧
を低く設定することも認められている。政府は灌漑分
野における新しい技術革新の研究開発も支援している
(Rejwan, 2011)。

先進灌漑技術の適用を阻害する大きな要因としては、
小農や限界耕作地の農民が特にそうだが、そうした
技術に投資するための知識や資本が不足しているこ
とがある。だが、それほど資本集約的でなくても同
様の目的を達成する方法はある。テンシオメータは
土壌の含水率を正確に計測できる装置であり、より
正確な灌漑が可能となる。インドのパンジャブ地方
では、米作農家がこの装置を用いて 33% 節水したと
の報告があった (UNEP, 2014a)。「スマート灌漑スケ
ジューリング」とは、必要な量の水を必要な時に供給

して過剰灌漑を防止するものである (McCready et al., 2009)。ウガンダでも最新の ICT を活用して天気予報の情報を入手し、灌漑や水管理のタイミングの向上に役立てている (UNCTAD, 2011)。

先進技術が使えない場合、比較的単純な対策でも水効率を向上させることができる。アクション・エイドの報告書によれば、西アフリカでは、畑地に沿って築いた石垣が雨期において流去水の流れを抑制しているという。これは、土壌水分の改善、土壌浸食の抑制、地下水の涵養をもたらしている。この単純な技術は、土地の保水力を5～10倍向上させ、斜面の上からの流去水を留められる土地ではバイオマス収量は10～15倍にも跳ね上がらせる (ActionAid, 2011)。天水地域において土壌水分を効果的に管理できる他の技術としては、畝間、等高線植栽、段畑などがある (FAO, 2011)。

トイレや浴室の水消費量や水道管網の漏水を削減することは、都市部における最も効率的な節水の方法とされている (Sharma and Vairavamoorthy, 2009)。具体的な技術としては、節水型のトイレ、シャワー、シンクなどがある (Sharma and Vairavamoorthy, 2009)。オーストラリアでは、メルボルン等の都市において、電化製品の取付け部品で水流を弱めるもの

が導入されている (UNEP, 2013a)。ニューサウスウェールズでは、新しい建設開発やリノベーションの際に上水消費量の40%削減を証明する書類の提出が義務づけられている (Burgin and Webb, 2011)。

水道の漏水対策も多くの地域において優先課題となっている。漏水や不明水による水損失量についてはばらつきが大きく、供給量の5～80%となっている。このばらつきは、インフラ整備の水準や管理・運用によるものである (UNEP, 2016b)。Dobbs et al. (2011)によれば、公共水道からの漏水を削減できる余地は大きく、事業所、一般家庭、公共施設への水供給における漏水対策により、2030年までに1,000～1,200億 m³分の水が得られる計算になるという。水損失がなかなか減らないのは、水道料金の徴収が不十分なことと関係がある。世界銀行によれば、インドの都市で作られた水の40%は、漏水により失われるか利用者に請求がなされていないという (Agrawal, 2008)。UNEPでは、一部の国では無収入となる水の割合は最高で70%になると推定している (UNEP, 2014b)。料金の徴収が不十分なため、水道事業者にとっては時宜を得たインフラ投資を行うインセンティブも利用可能な資本もほとんどないのが現状である (Dobbs et al., 2011)。



水が補助の対象となっている国は多い。Kochhar et al. (2015) によれば、2012 年における水関連の補助金は全世界で総額 4,560 億ドルになるという。つまり、水を保全しようとするインセンティブはほとんど働かず、また、水道事業者がインフラへ再投資する十分な収益が得られない場合、長期的には水道の効率がさらに悪化し、その資金的な持続可能性を脅かすこととなるのである。Kochhar et al. (2015) は「水道料金制度の改革等によりインセンティブのあり方を正せば、水消費の合理化、必要な投資の推進、貧困層の保護につながる」一方、補助金は、水道へのアクセスがよく利用量も多い上位所得層に有利となるため、補助金では公平性が保てないかもしれないと指摘す

る。補助金の目的が貧困層の水へのアクセスを確保することであるというのなら、費用対効果が高く、再投資の資金を確保し、節水のインセンティブを維持できる方法は他にもある。

ブラジル南東部のパラíbaスル川流域では、水道料金の段階的な引き上げが 2003 年に開始された。水道事業者は水道料金の値上げにより所得が増えたため、水管理に対する投資を増やした。水道料金の値上げは、節水の推進にも貢献した。2006 年から 2008 年の間で、取水量は 16%、水消費量は 29%減少した。また、企業は節水や再利用の技術に対する投資を行うようになった (UNEP, 2014a)。

水消費のさらなる効率化のための大きな原則として、水のカスケード利用がある。この原則の考え方は、水の用途によっては飲料水基準の水質は必要ないということである。雨水は様々な用途に利用できるし、事実、オーストラリアではすでに一般的である (Burgin and Webb, 2011)。中水道はこれまで洗浄目的にに使われてきたが、植物の水やりや水洗トイレにもそのまま再利用できる。オーストラリアの全世帯のうち、半数以上は何らかの形で中水道を再利用している (Maheshwari, 2006)。カリフォルニアでは、1990年代半ばから景勝地やゴルフ場での散水用の水、農業用水、工業用水、トイレの水洗用として中水道が利用されている (Weizsäcker et al., 2009)。ガーナのアクラでは、ある種の水のカスケード利用が出現した。安全ではない方のカスケード利用である。すなわち、生活排水が処理されないまま、小規模都市農家の主要な灌漑水源である小川に流れ込んだのである。これに対し、あるプロジェクトが実施され、低コストの自然処理の仕組みを整備し、その処理によりこの生活排水を灌漑用水として安全な水質まで引き上げた (Reymond et al., 2009)。健康リスクを回避できるほど汚染物質を除去できるのであれば、廃水は栄養塩類が豊富という利点があるため、灌漑用水として非常に適したものになる。(FAO, 2011)。

人口増加と都市化という趨勢を踏まえると、水の効率的な利用、ならびにリサイクルやカスケードによる再利用の適用は、先に指摘したように、極めて重要な方策となる。ただし、水消費の効率化は完全な水理学サイクルの観点から検討しなければならない。地下水の取水が非持続可能な状況となっている世界の各地 (FAO, 2011; WWAP, 2015) においては、流域管理を含む支川小流域レベルの涵養戦略を水消費の効率化に組み込む必要がある。

河川や海洋もバイオマスの供給源であるが、非持続可能な速度で枯渇化が進行していることが多い。第2章で見たように、世界の漁業資源の大半は最大限度まで漁獲されているか、乱獲状態にある。この問題は、漁民から小売業者、食品事業者、消費者に至るまでの様々な主体が関わる複雑なフードシステムや、価格だけが問題にされるような極めて競争的な市場に各主体が組み込まれていることの結果である。これへの可能な対応の一つが、品質保証ラベル・基準の出現にある。その一例である海洋スチュワードシップ協議会 (MSC) のラベルは、持続可能な供給源から責任を持って漁獲した商品であることを消費者に示すことを目的としている (MSC, 2016)。このような表示ラベルによって、消費者は商品を購入する際に持続可能性をよりどころにすることができる。競争が

厳しい各業界にあって、消費者が業界をより持続可能な方向に導く可能性を開くものということできる。

3.3.4 エネルギー

エネルギー消費は、化石燃料需要の最も大きな部分を占める。したがって、エネルギー部門は化石燃料の利用に伴う気候変動及びその他環境影響に取り組む上で中心的な役割を果たす。IPCC や IEA などの機関が考案したシナリオを見ると、化石燃料のエネルギー源を低炭素の代替源に置き換えるような、エネルギーシステムにおける技術の変化が重要であることがわかる。ただし、そのようなシナリオは需要削減の重要性も強調している (IEA, 2010, 2012a; IPCC, 2014)。エネルギー部門における資源効率性の向上は、人類の発展や福利厚生に負の影響を与えることなく需要削減を実現する上で極めて重要となる。このような問題意識は、国際資源パネルがパリの COP 21 気候サミットに提出した『気候変動に関する 10 の主要メッセージ』(UNEP, 2015a) の論拠となっている。この文書は、その第 1 部で指摘しているように、パリ協定で成立した気候目標を費用対効果の高い方法で達成する上で資源効率性が果たす役割を強調している。本章の冒頭で触れたように、本書のために実施したモデリングによっても同様の結論が得られている。

図 10 に示したように、建築部門が世界の GHG 排出量の約 18% を占めている (IPCC, 2014)。建築部門のエネルギー効率向上に対する投資は一般的になっている。

フィンランドの各自治体は、義務的なエネルギー効率パフォーマンスコードとエネルギー効率向上対策を対象とした補助金によって、CO₂ 排出量削減に向けて建築部門のエネルギー効率を大幅に改善させた (UNEP, 2013a)。オーストラリアのメルボルンにおいても、義務であるエネルギー効率パフォーマンスコード、公共の施設と照明におけるエネルギー効率対策の実施、家屋監査プログラム、民間のテナントと連携したグリーンオフィス同盟 (green office alliance) などによって、建築部門の効率が向上した (UNEP, 2013a)。

カナダのアルバータにあるレッドディア大学の四大センター (Four Centres) の建物を見ると、建物のエネルギー性能を最大限に引き出す上で設計とシミュレーションのモデリングがいかに重要であるかがわかる。この建物は自然光を最大に取り入れる設計になっており、照明に付けられたセンサーによって照明が不要な際は自動的に消灯するようになっている。熱交換によって排気熱を再利用するという効率的な換気設

計にもなっている。また、建物の外部構造は耐熱性が非常に高いグリーンビル協会の LEED 認証手続きやコンピュータによるモデリングやシミュレーションを参考に設計が進められ、代替戦略による省エネやコスト削減効果を試算した。その結果、最低必要効率基準を 61% も上回る建物が完成したのである (National Resources Canada, 2015)。

建物の効率向上の大きな目的は、排出量の削減に加え、弱い立場にある低所得の市民の健康と福利厚生への増進であることが多い。ボストンの住宅エネルギープログラム (Residential Energy Programme) とスロベニアのリュブリャナの「公共住宅基金 (Public Housing Fund)」(両者とも完成版 (UNEP, 2017) で細述) は、自治体主導の省エネ・低炭素の持続可能住宅を整備するプログラムを、先進国の都市における低所得世帯に対して提供できることを示している。世界の南側の国々においては、急速な都市化と都市部の人口急増という文脈において、住宅、雇用、公共インフラのニーズに対応する上で建築部門の改善も極めて重要である。その一例として、南アフリ

カのケープタウンにおけるクヤサプロジェクトがある。このプロジェクトでは、低所得者向けの住宅に省エネ型の電球、断熱天井、太陽熱温水器を採用し、光熱費を抑えるとともに、住居の快適性を高めた。このプログラムはその CO₂ 排出削減効果のため、クリーン開発メカニズム (CDM¹⁸) の条件を満たしている。この事業は地域の雇用創出や技能向上にもつながった (UNEP, 2013a)

消費者のエネルギー消費の効率向上を阻害している要因の一つは、利用者に対する情報と利用者のコストに対する意識が共に欠けていることである。この問題に対し、EU 域内ではエネルギー効率ラベリングによって対応してきた。エネルギーラベリング指令とエコデザイン指令により、現状維持よりも 2020 年には 19% の省エネ効果をもたらすと予測されている (Molenbroek et al., 2014)。基準の義務化も可能である。日本のトップランナー制度では、エネルギー効率の最も高い電化製品の性能を後年の必須平均達成基準を策定する際の指針としている。この制度の開始から 12 年間の実績を検討したところ、エネルギー

¹⁸ 気候変動枠組条約の京都議定書において設立されたメカニズムで、排出削減を公約した国が途上国における排出削減プロジェクトに投資を移転することを促進するものである。こうしたプロジェクトは認証排出削減量 (CER) クレジットを発行する。このクレジットは京都議定書の目標達成において使用することができる。
http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/clean_development_mechanism/items/2718.php参照。

効率性能の向上とイノベーションの促進が確認された。各対象製品種が必須のトップランナー基準を達成しており、しかも基準を大きく超えることも多かった。対象年における効率向上の率は製品の種類によって異なるが、16% から 80% の間であった (Kimura, 2012)。電気の無駄を減らすコンピュータ制御技術に投資を行っている都市もある。韓国の松島では、建物の照明と温度管理がコンピュータで制御されており、エネルギーの無駄を最小限に抑えている。他方、カリフォルニア州サンノゼはスマート・ネットワークに接続する LED 街灯に投資を行っている (UNEP, 2013a)。

運輸部門は世界の GHG 排出量の 14% を占めている (IPCC, 2014)。交通インフラの設計・計画によって交通需要を抑制できる余地は大きい。例えば、ドイツのフライブルク市近隣にエコタウンのヴォーバンがある。事の始まりは、同市が必要な住宅を整備するために旧陸軍兵舎を購入したことである。そのため、この事業の設計に持続可能性を組み込むことができた。この地区は持続可能な交通を実現する設計になっている。同地区とフライブルク市中心部とを結ぶ路面電車が走り、住宅は各駅から歩いて行ける距離に建てられている。同地区は徒歩や自転車を積極的に奨励し、車の利用を妨げる設計にもなっている。

例えば、居住地区間を車が継続的に通行できる道路数を制限している。区画道路は弧状に曲がったカーブや袋小路が多く、車にとっては行き止まりになるが、そこから居住地区を縦横に走る歩行者道や自転車道につながっている。したがって、交通手段は徒歩か自転車が主体になる。

全米研究評議会 (NRC, 2009) が実施してまとめた研究によれば、エネルギー消費と交通のあり方を決定する上で 5 つの D が重要であるという。5D とは、人口密度 (population density)、(居住・商業の混合等) 用途の多様性 (diversity of uses)、公共交通機関までの距離 (distance to public transit)、徒歩、自転車、車、公共交通機関等、複数の移動手段に対応した設計 (design to support multiple modes of travel, including pedestrian, bicycle, automobile and public transit)、ならびに職場を中心とした目的地までの交通の便 (access to destinations, with focus on job locations) のことである。

インドのアーメダバード市は、混合用途開発 (多様性)、設計 (複合交通)、目的地までの交通の便の改善、公共交通機関までの距離の短縮化、およびコンパクトで密度の高い開発を組み合わせた計画により、自動車走行距離 (VMT) の短縮に成功した。これは、



途上国における5Dの典型例であるが、その大きな成功要因の一つは、交通計画を全体の広範な開発計画の中に位置づけるとともに、これを受けて策定した「総合交通計画 (Integrated Mobility Plan)」の期間を20年とした同市の決断であった。つまり、この総合計画は交通の問題を高密度混合用途型の都市インフラ整備の中に位置づけたのである。あらゆる交通手段を相互補完的に組み合わせ、地域の公共交通機関を各拠点において大量輸送交通機関に接続させた。高速バス輸送回廊沿いに歩行者や自転車の専用レーンも整備した (Swamy and Bhakuni, 2014)。

大規模な都市インフラがすでに整備されている大都

市では、本格的な5Dの実施は難しいかもしれない。それでも、低エネルギー交通のイノベーションは可能である。その一例として、様々な国の複数都市において導入されている自転車シェアリングの考え方がある。その形態は様々だが、都市部で短い距離を移動するのに安価で速く、思い立ったら直ぐに利用できる自転車を用意するという考え方が基本である。その草分け的な存在がパリにおけるヴェリブの取り組みである。市内全域には1,200カ所の自動貸出ポイントがあり、合計2万台の自転車を24時間いつでも借りることができる。利用者は1日や1週間単位で料金を支払う。長期利用には申し込みが必要である (UNIDO, 2013)。



エネルギーの大口需要産業において、まだ手をつけられていない資源効率性を向上させる大きな機会は数多くあるが、国・産業・産業内プロセスによって異なる。IEA (2012a) によれば、利用可能な最善の技術を活用すれば、産業界のエネルギー消費量を現在よりも 20% 削減することができるという。ここでは、効率化の可能性を広げた重要部門の例として鉄鋼業と鋳業を取り上げる。

鉄鋼業は世界の最終エネルギー消費の約 6% を占める。鉄鋼生産のエネルギー効率は着実に向上しているが、その速度は鈍化している。年間の効率向上率は 1960 年から 1980 年までは 2% から 4% であったが、

1980 年から 2005 年には 0.5 ~ 1% に低下した。マッキンゼーによる基準ケースの想定では、年間の効率向上率は 2010 年から 2030 年までは 0.7% で、その主な要因は溶鋳炉や酸素転炉 (BOF) から電気アーク炉 (EAF) への転換である (Dobbs et al., 2011)。

効率向上の方法としては、プロセスの様々な段階で廃熱を再利用するコージェネレーションが考えられる。その他のプロセスの別の段階における方法としては焼結クーラー廃熱回収、廃棄物燃料の利用、石炭調湿などがある。これにより、直接エネルギー消費量を 50% 削減することが可能である。BOF による鉄鋼生産では、圧延 (例、「熱間装入、熱交換器付バー

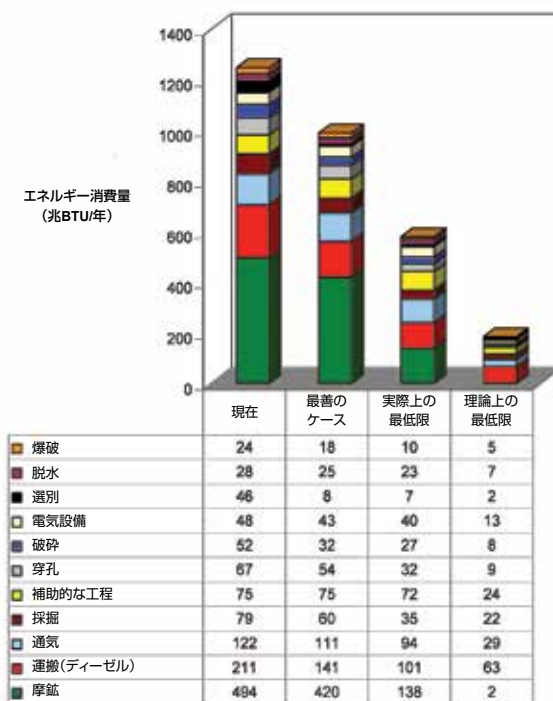
ナ、酸素濃度制御])により直接エネルギー消費量を88%、電力消費量を5%削減できる。微粉炭噴射、高炉炉頂圧発電、溶鉱炉制御システムでは、直接エネルギー消費量を10%、電力消費量を35%削減できる。EAFによる鉄鋼生産では、工程管理改善、酸素燃料バーナおよびスクラップ予熱により、電力消費量の76%削減が可能となる(Dobbs et al., 2011)。

米国の鉱業に関連してBCS(2007)も重工業における省エネの可能性について楽観的見通しを示している。図14に示したように、優良事例が普及すると仮定すると重工業のエネルギー需要は年間で258兆BTU減少する。これは約20%の減少である。改良技術の開発に目的を特化した研究開発投資を行えば、さらに年間409兆BTUの削減につながるため、現在のエネルギー消費レベルから50%以上削減することができる。



重工業においてこのような新しい技術や模範的な手法を実施することを阻害する要因としては、地域にもよるが、情報の失敗や適切な工学的資源へのアクセス不足などがある。また、設備投資も必要であり、エネルギーや物質価格の乱高下に弱いため、特定事業の将来について不確実性を生じさせる。

図14: 米国の鉱業におけるエネルギー消費量と省エネ可能性(設備機器の種類別)



出典: BCS (2007), p. 23, Exhibit 18

3.4 システム思考と連環(ネクサス)課題

これまでの優良事例は、物質、土地・土壌、水、エネルギーの四大資源に分類してみた。しかしながら、資源や資源効率性の課題を相互に重なり依存するシステムという観点から検討することも重要である。

エネルギーシステムは相互関連性が高く、ある部門の需要の変化や燃料の代替が別の部門に影響を与える。フードシステムは、各主体が相互に作用する複雑な系であり、その中で強力な多国籍企業が大きな力を持っている。都市そのものも、あらゆる重要な資源が移動する重要なシステムである。

資源間の重複やシナジー効果あるいは「連環(ネクサス)」の相互作用は、大きな影響を及ぼすと同時に、ウィンウィンの機会となり得るという意味で貴重でもある。例えば、水ストレスに晒された地域であれば海水淡水化など、エネルギー集約的な水生産方法に頼らざるを得ないこともあるが、その場合、節水は省エネにもなる。食糧生産や消費の効率向上は、土地、水、エネルギーの節約につながる。

また、資源はライフサイクル分析によってサプライチェーンの観点から検討することも重要である。そう

すると、例えば、その国の資源フットプリントの多くは、他の国における負荷となっているサービス業中心の国の資源効率性に影響を与える。資源代替の便益にも影響を与える。例えば、バイオエネルギー製品はエネルギー需要において化石燃料の代替となりえる。しかし、どちらの負荷が低いかを明確にする前に、土地利用や加工や輸送に伴う排出量の点で、双方について全ライフサイクル影響評価を比較する必要がある。

以上のことから、政策決定者にとって問題は相当に複雑である。本報告書で取り上げた資源やシステムは、単に実務上の理由から別々の省が担当することが一般的である。これは無理からぬことでもあり、政策決定者は特定の問題に取り組み、やりやすい部分で目立つ成果を上げることができるとも大きい。しかし同時に、政策決定者は資源別、部門別のアプローチと、部門や資源の違いを超えてサプライチェーン全体を捉える視点とのバランスを図ることが強く望まれる。それは、個々の政策的措置の望ましくない結果が見過ごされることを避けるためでもあり、また、部門や資源をより包括的に捉えればウィンウィンの機会となる可能性があることを意識し続けるためでもある。



4. 結論

4.1 資源効率化の喫緊性と機会

資源効率性の向上の喫緊性は、人口増加と経済成長が現在の生産と消費の形態と相まって、天然資源や環境に圧力を与えていることから生じている。こうした圧力はある種の脅威であり、もしそれに対処しなければ、国際社会が SDGs やパリ協定の気候目標を達成することは不可能になるかもしれない、もしくは、その達成のための費用がさらに高騰し、持続可能な開発やすべての人々のためのよりよい未来の実現は危ぶまれる。

それぞれの国の経済を運営しつつ、資源効率性を漸進的かつイノベーション主導により向上させるため、政策決定者による体系的な取り組みによって、こうした脅威に対処するとともに可能な限りこれを回避する必要がある。そのためには、経済プロセスが物質・エネルギーを有益な形に転換する際に用いる技術の効率性を向上させ、関連する環境影響の低減を図るとともに、資源生産性、すなわち物質やエネルギーの単位あたりのインプットに対して経済プロセスが付加する価値を増大させる必要がある。

資源効率性の向上によってもたらされる機会は、経済成長を引き上げ雇用を創出する可能性がある。資源効率性の向上がもたらす便益は、資源ボトルネック、環境汚染および気候変動のコスト削減分も考慮に入れば、さらに大きいものになるだろう。

しかしながら、なんらかの支援がなければ、市場は、こうした高いレベルの資源効率性は実現できない。本研究は、資源効率性向上による成長の引き上げや雇用の拡大は様々なメカニズムによって生み出されることを示唆している。市場だけで達成するよりも、早い速度によるイノベーションと技術変革を加速化させるメカニズムである。具体的には、政策主導による資源効率的インフラと製品に対する高い投資、明晰かつ対象を明確化した規制の実施、資源効率型の製品や工程に対する経済的な見返りが多くなるよう人件費と原材料費のバランスを調整する環境税やその他財政政策改革である。環境税制改革は、資源効率性向上による経済活動の増加が資源消費の減少や環境汚染の軽減による便益を相殺するリバウンド効果を回避する上で特に重要となる。資源効率性向上を促進する政策オプションに関する詳細な分析や指針については、まさにこのテーマについて OECD が G7 の要請により作成した報告書があるので、そちらを参照されたい。

資源効率性向上がもたらす金銭面や雇用面の便益は、人間の福利厚生にとって極めて重要なことが多い非金銭的な便益によって大きく強化される。その便益は、とりわけ資源安全保障、環境汚染の低減、健康の増進、環境の質の向上、生物多様性の喪失の抑制によってもたらされる。また、資源効率性は資源の社会的配分を改善する機会を提供する。資源の量と質に対する負荷を軽減すれば、社会的弱者や貧困層が必要とする資源を利用しやすくなる。つまり、資源効率性の課題は、確実に公平な資源へのアクセスを通じて、あらゆる国の不平等と貧困を是正する可能性を秘めた課題でもある。したがって資源効率性の向上は、十分な情報に基づいた適切な公共政策の追求によって、持続可能な開発のあらゆる側面、すなわち経済面、社会面および環境面において様々な便益をもたらすことができる。

4.2 資源効率性向上の優良事例

資源効率性の向上に特効薬はない。必要な対策は、技術的、経済的その他政策関連のものも含めて、部門や資源ごとに異なる。この政策決定者向け要約やその完成版である評価報告書の内容には資源効率的解決策の例が多数含まれており、資源管理における高い効率を達成する方法が示されている。その方策

は細かい部分で異なっている—様々な資源、経済部門、工程等を扱っているため—が、いくつかの共通点もある。それを以下で説明する。

資源効率性の向上を阻害する大きな障壁がある。資源効率性の向上は、市場の力だけでは実現できない。これが事実でないとしたら、現在よりもはるかに高い資源効率性が当たり前になっていることだろう。様々な経済主体は、政策決定者と連携し、資源効率化の加速化に向けた協調行動を取らなければならない。そのためには、より資源効率的な取り組みに向けた強力かつ新たなインセンティブがなければならない。

短期的なリターンと長期的なリターンの対立という課題がある。価格が不安定で短期の投資回収が求められる産業部門の企業、あるいは資本が限られている他の主体にとっては、資源効率性への投資が不可能な場合もある。この問題は、経済は急速に拡大しているが、都市部などで戦略的な資源効率的介绍を展開するための資源が不足している途上国にも該当するかもしれない。この問題に対処する方法はいくつかある。例えば、集約的投入による短期的な収益回収ではなく長期的な生産性向上と土地の質の維持・回復を重視した「辛抱強い」資本や開発資金の提供、企業が長期的な投資の正当性を高められるような価

格が不安定な分野の企業に対する支援や各分野にわたる政策見通しの明確な展望の提供、さらには、途上国やその都市が長期的な省資源インフラ整備計画を策定できるような資金援助の提供などである。

資源効率と経済効率は必ずしも連動していない。例えば、低い原材料費と高い人件費のトレードオフ関係により、物質を廃棄する方がその無駄の回避のための労働力に投資するよりも費用がかからないことがある。この障壁を克服する方法としては、外部性への課金化、資源採取税の導入による物質価格の引き上げとそれによる効率的な使用のための経済インセンティブ付与、価格の乱高下の緩和のための機動的な税の活用による不安定性と将来不確実性の軽減、労働力節約のための物質への支払いではなく原材料を節約するための労働への支払いを促進するようなインセンティブの考案、などが考えられる。

進行する都市化はより資源効率的に進められるべきである。世界の多くの国で出現・拡大している町や都市にとって、資源効率性はその指針となる必要がある。この指針を建築、交通システムおよびインフラに適用し、最新の情報通信技術を最大源に活用することによって、物質、水およびエネルギーの調整管理が可能となる。そのようなインフラに対しては公共

投資と民間投資が必要になるかもしれない。

物流やサプライチェーン関連の諸問題に対処しなければならない。資源の再利用やリサイクルには、製品のサプライチェーンとは逆の方向に使用済み物質を動かすことが必要である。そのためには、様々な主体が資源管理の計画や物質・製品の供給・返却の物流に対して協調したアプローチを取る必要がある。例えば産業共生のように、こうした分野を統合的に検討することによって相乗効果や便益が生まれる。

資源効率性を阻害するような規制は変えるべきである。例えば、線的な物質管理チェーンの管理を目的として設定された規則の場合、廃棄物に分類された物質が再びサプライチェーンに組み込まれることができない可能性がある。そのため、物質、水およびエネルギーのフローに関する規制は、人間の健康と環境を保護しつつ、循環型の資源フローを可能にするように改正すべきと考えられる。具体的には、廃棄物管理の諸定義や諸規定の再検討や非生産的な補助金の廃止などの検討である。資源効率化による「敗者」の問題も対処が必要である。産業部門によっては物質採取量の削減は収益減や雇用喪失を招くからである。これに関しては、移行に伴う諸問題に適切に対処

するとともに、「敗者」に対する適切な補償を検討することが重要である。ただし、資源効率性は他の分野の雇用を創出する効果があることに注意したい。したがって、資源効率化に抵抗したり、資源効率性の低い事業（いずれにせよ衰退するかもしれないが）を促進するより、余剰労働力を資源効率性の高い部門や事業に振り向けたり、そのための再教育を実施するプログラムを策定する方が望ましいと考えられる。

資源効率性のいくつかの側面には限界がある。とりわけ、リサイクルの方がエネルギー効率が悪くなる分岐点も場合によっては存在する。資源効率性向上の取り組みによる別の環境影響や異なる資源間の相互



作用によって、問題を複雑化させ、意図しない結果を生む可能性もある。このような状況に対処するためには、システム全体を捉えるアプローチを用いて資源消費や製品の影響をライフサイクルや消費と生産の観点から評価する必要がある。その際、必要に応じて、政策の策定や修正に用いた知見を活用すべきである。

資源効率性について国別・国際的な目標を採択し、その目標に対する進捗状況をモニタリングすべきである。政策決定者や企業が資源効率性を優先課題とする強力なインセンティブとなりうる。資源効率性がSDGsの実現に不可欠であることを自覚すれば、状況はある程度は改善されるだろう。しかしながら、資源効率性に関する具体的な目標や物質、水、土地、炭素などの主要資源を対象とした複数の目標が、状況の改善を促進するとともに将来に関する認識を政府、産業界および社会で共有化する上で有効であることも認識すべきである。各国の資源消費や資源効率性を調和された方法で評価し、その結果を定期的に公表すれば、GDP成長と同じように、資源効率性が注目を集め、その向上に対する意欲も高まるかもしれない。

SDGsの実現やパリ協定で表明されたGHG排出量削減への決意とも関係していることを踏まえると、資源効率性の改善は、世界レベルで実施することは持続可能な開発を現在、将来にわたって実現するための最優先課題と位置づけられる。

世界有数の豊かさと活発な経済活動を誇る国々で何ができるのかを示すための主導的な役割をG7国が果たす上で、先頃設立された「資源効率性のためのG7アライアンス」は歓迎すべき取り組みである。同時に、全人類の利益のためにより資源効率的で持続可能な開発の道を歩むためG7国、他の先進国、新興国、途上国において、協調行動を進める余地は大きく、また早急に必要でもある。国際社会は、あらゆるレベルにおける継続的な交流、パートナーシップ、協力を通じ、SDGsの合意に導いた精神と共通の思いを形にする相互支援、学び、そして能力開発をすすめることによって、これを支援することができる。

参考文献

ActionAid (2011). Smallholder-led Sustainable Agriculture. An ActionAid International Briefing.

Addams, L., Boccaletti, G., Kerlin, M., and Stuchtey, M. (2009). Charting our water future. Economic frameworks to inform decision-making: 2030 Water Resources Group, McKinsey and Company.

Agrawal, P. (2008). Designing an effective leakage reduction and management program: World Bank.

Allwood, J. (2014). Squaring the circular economy: the role of recycling within a hierarchy of material management strategies Handbook of Recycling: Elsevier.

Allwood, J., Ashby, M., Gutowski, T., and Worrell, E. (2011). Material efficiency: a white paper. *Resources Conservation and Recycling*, 55, 362-381.

Altieri, M. (2002). Agroecological Principles for Sustainable Agriculture. In N. Uphoff (Ed.), *Agroecological Innovations: Increasing Food Production with Participatory Development*. London Earthscan.

BCS (2007). Mining Industry Energy Bandwidth Study. Washington D.C.: US Department of Energy.

BMUB (2012). German Resource Efficiency Programme (ProgRes) - programme for the sustainable use and conservation of natural resources. Berlin: Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMUB).

Boa, E., and Bentley, J. (2009). Net income change obtained by farmers following advice received from plant health clinics. Impact Assessment Short Report Bolivia.

Böhringer, C., and Rutherford, T. (2015). The Circular Economy – an Economic Impact Assessment. Report to SUN-IZA.

Bringezu, S. (2015). On the mechanism and effects of innovation: Search for safety and independence of resource constraints expands the safe operating range. *Ecological Economics*, 116, 387-400. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.06.001>.

Bruinsma, J. (2009). *The Resource Outlook to 2050: By how much do land, water, and crop yields need to increase by 2050?* Paper presented at the FAO Expert Meeting, 24-26 June 2009, on "How to Feed the World in 2050". Rome.

Buckwell, A., Nordang Uhre, A., Williams, A., Polakova, J., Blum, W., Schifer, J., Haber, W. (2014). The sustainable intensification of European Agriculture. A review sponsored by the RISE foundation. Brussels: RISE Foundation.

Burgin, S., and Webb, T. (2011). 'Water metres': a new approach to thinking about water conservation in suburbia. *Urban Water Journal*, 8(4), 233-240.

Chertow, M. (2000). 'Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy'. *Annual Review of Energy and Environment*, 25, 313-37.

CE and BiolS (2014). Study on modelling of the economic and environmental impacts of raw material consumption. Brussels: European Commission.

Coady, D., Parry, I., Sears, L., and Shang, B. (2015). How Large Are Global Energy Subsidies? Washington DC: International Monetary Fund.

Dalgaard, R., Schmidt, J., Halberg, N., Christensen, P., and Thrane, M. (2008). LCA of soybean meal. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(3), 240-254.

De Long, J. B. (1998). Estimates of World GDP, One Million B.C. - present. Berkely, California: U.C. Berkeley.

Despeisse, M., and Ford, S. (2015). The role of additive manufacturing in improving resource efficiency and sustainability. Cambridge: Centre for Technology Management, University of Cambridge.

Dobbs, R., Oppenheim, J., Thompson, F., Brinkman, M., and Zornes, M. (2011). Resource Revolution: Meeting the world's energy, materials, food, and water needs: McKinsey Global Institute, McKinsey Sustainability and Resource Productivity Practice.

Dobbs, R., Oppenheim, J., Thompson, F., Mareels, S., Nyquist, S., and Sanghvi, S. (2013). Resource revolution: tracking global commodity markets - trends survey 2013: McKinsey Global Institute, McKinsey Sustainability and Resource Productivity Practice.

Dong, H., Ohnishi, S., Fujita, T., Geng, Y., Fujii, M., and Dong, L. (2014). Achieving carbon emission reduction through industrial and urban symbiosis: A case of Kawasaki. *Energy*, 64, 277-286. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.11.005>.

Ellen MacArthur Foundation and McKinsey Center for Business and Environment (2015). Growth Within: a Circular Economy Vision for a Competitive Europe. Cowes, United Kingdom: Ellen MacArthur Foundation.

Ellen MacArthur Foundation (2016). Circular Economy. Retrieved 1st April, 2016, from: <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy>.

Elliott, J., Firbank, L. G., Drake, B., Cao, Y., and R. Gooday. (2013). Exploring the Concept of Sustainable Intensification. Report to the Land Use Policy Group. Wolverhampton: Agricultural Development Advisory Service.

Erbel, H. (2008). A best practice example of chemical leasing in metal cleaning in the automotive industry. Report by an Austrian company. In T. Jakl and P. Schwager (Eds.), *Chemical leasing goes global. Selling services instead of barrels: a win-win business model for environment and industry*. Vienna: UNIDO.

European Commission (2015). Closing the loop: Commission adopts ambitious new Circular Economy Package to boost competitiveness, create jobs and generate sustainable growth. Press release. Brussels, 2 December 2015. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-15-6203_en.htm.

FAO (2011). The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) - Managing systems at risk. London: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO (2012). World Agriculture towards 2030/2050: the 2012 Revision. ESA Working Paper No. 12-03. Rome, Italy.: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO (2014). The state of world fisheries and aquaculture - opportunities and challenges. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO (2015a). The State of Food Insecurity in the World - Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress. Rome: Food And Agriculture Organization of The United Nations.

FAO (2015b). Status of the World's Soil Resources: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO (2016). FAOSTAT: Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. Retrieved 31st March, 2016, from: <http://faostat3.fao.org/home/E>

Feedback (2015). Food waste in Kenya: uncovering food waste in the horticultural export supply chain. London: Feedback.

Fogelholm, M. (2013). New Nordic Nutrition Recommendations are here. *Food & Nutrition Research*; Vol 57 (2013) incl Supplements.

G7 (2015). Leaders' Declaration, G7 Summit, Schloss Elmau, 7-8 June 2015. https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/7320LEADERS%20STATEMENT_FINAL_CLEAN.pdf.

Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R., and Meybeck, A. (2011). Global food losses and food waste - extent, causes and prevention. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Haberl, H., Erb, K.-H., and Krausmann, F. (2014). Human Appropriation of Net Primary Production: Patterns, Trends, and Planetary Boundaries. *Annual Review of Environment and Resources*, 39(1), 363-391. doi: doi:10.1146/annurev-environ-121912-094620.

Hanson, B., and May, D. (2011). Drip irrigation salinity management for row crops: University of California, Agriculture and Natural Resources.

Hatfield-Dodds, S., Adams, P.D. et al. (2015). *Australian National Outlook 2015: Economic activity, resource use, environmental performance and living standards, 1970-2050*. CSIRO, Canberra. <http://www.csiro.au/nationaloutlook> Hatfield-Dodds, S., Schandl, H., et al., (2015) Australia is 'free to choose' economic growth and falling environmental pressures, *Nature*, 5 November 2015, doi:10.1038/nature16065.

Herrick, J. E., Beh, A., Barrios, E., Bouvier, I., Coetzee, M., Dent, D., . . . Webb, N. P. (2016). The Land-Potential Knowledge System (LandPKS): mobile apps and collaboration for optimizing climate change investments. *Ecosystem Health and Sustainability* 2(3). doi: 10.1002/ehs2.1209.

Herring, H., and Sorrell, S. (Eds.). (2009). *Energy Efficiency and Sustainable Consumption: the Rebound Effect*. Basingstoke/New York: Palgrave Macmillan.

Hülsbergen, K.-J., and Küstermann, B. (2007). Ökologischer Landbau - Beitrag zum Klimaschutz. In K. Wiesinger (Ed.), *Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern* (p. 9-21): Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft.

IEA (2010). *Energy Technology Perspectives 2010 - scenarios and strategies to 2050*. Paris, France: International Energy Agency.

IEA (2012a). *Energy Technology Perspectives 2012 - pathways to a clean energy system*. Paris: International Energy Agency.

IEA (2012b). *World Energy Outlook*. Paris: International Energy Agency.

IMF (2016). *IMF Primary Commodity Price System*. <https://www.imf.org/external/np/res/commod/index.aspx>.

IPCC (2014). Summary for policy-makers. In O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J. C. Minx (Eds.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the*

Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.

Kimura, O. (2012). The role of standards: the Japanese Top Runner Program for end-use efficiency. Historical case studies of energy technology innovation. In Grubler A., F. Aguayo, K. S. Gallagher, M. Hekkert, K. Jiang, L. Mytelka, L. Neij, G. Nemet, and C. Wilson (Eds.). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Kochhar, K., Pattillo, C., Sun, Y., Suphaphiphat, N., Swiston, A., Tchaidze, R., . . . Finger, H. (2015). Is the glass half empty of half full? Issues in managing water challenges and policy instruments: International Monetary Fund.

Krausmann, F., Erb, K.-H., Gingrich, S., Haberl, H., Bondeau, A., Gaube, V., . . . Searchinger, T. D. (2013). Global human appropriation of net primary production doubled in the 20th century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(25), 10324-10329. doi: 10.1073/pnas.1211349110.

Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., Haberl, H., & Fischer-Kowalski, M. (2009). Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics*, 68(10), 2696-2705. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.007>.

Maheshwari, B. (2006). The efficiency and audit of residential irrigation systems in the Sydney Metropolitan Area. Queensland, Australia.: Cooperative Research Centre for Irrigation Futures, Darling Heights.

Majule, A. (2011). *Exploring opportunities for enhancing capacities to individuals, institutions and political domains to adapt to climate change in agricultural sector: A case of Tanzania and Malawi*. Paper presented at the Climate Change Symposium, Panel 16: Special Panel on Innovations in Agriculture and Food Security.

McCready, M. S., Dukes, M. D., and Miller, G. L. (2009). Water conservation potential of smart irrigation controllers on St. Augustinegrass. *Agricultural Water Management*, 96 (11), 1623-1632.

MEA (2005). *Millennium Ecosystem Assessment (2005). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC.: Island Press.

Meyer, B., Distelkamp, M., and Beringer, T. (2015). Report about integrated scenario interpretation: GINFORS/LPJm1 results. Deliverable D3.7a for the FP7 project POLFREE (Policy Options for a Resource-Efficient Economy).

Molenbroek, E., Smith, M., Groenenberg, H., Waide, P., Attali, S., Fischer, c., ..Fong, J. (2014). Evaluation of the Energy Labelling Directive and specific aspects of the Ecodesign Directive. Final Technical Report.: Ecofys.

Monteith, J. L. (1990). Can sustainability be quantified? *Indian J. Dryland Agric. Res. and Dev.*, 5 (1-2), 1-15.

Moriguchi, Y. (2007). Material flow indicators to measure progress toward a sound material-cycle society. [journal article]. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 9(2), 112-120. doi: 10.1007/s10163-007-0182-0.

Msangi, S., and Rosegrant, M. (2009). *World agriculture in a dynamically-changing environment: IFPRI's long-term outlook for food and agriculture under additional demand constraints*. Paper presented at the FAO Expert Meeting, 24-26 June 2009, on "How to Feed the World in 2050". Rome.

MSC (2016). Marine Stewardship Council - certified sustainable seafood Retrieved 3rd April, 2016, from <http://www.msc.org>.

National Resources Canada (2015). Four Centres at Red Deer College. NISP (2009). *National Industrial Symbiosis Programme: The Pathway to a Low Carbon Sustainable Economy*. Birmingham, UK: International Synergies Ltd. <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Pathway%20Report.pdf>.

NRC (2009). Driving and the Built Environment: The Effects of Compact Development on Motorized Travel, Energy Use, and CO₂ Emissions. : National Research Council Committee for the Study on the Relationships Among Development Patterns, Vehicle Miles Traveled, and Energy Consumption.

OECD (2008). Measuring material flows and resource productivity - Volume I. OECD (2012). OECD Environmental Outlook to 2050: OECD Publishing.

OECD (2015). Towards Green Growth? Tracking Progress. OECD Green Growth Studies. Paris.

Park, J. M., Park, J. Y., and Park, H.-S. (2016). A review of the National Eco-Industrial Park Development Program in Korea: progress and achievements in the first phase, 2005–2010. *Journal of Cleaner Production*, 114, 33-44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.115>.

Ponisio, L. C., M'Gonigle, L. K., Mace, K. C., Palomino, J., de Valpine, P., and Kremen, C. (2014). Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. [10.1098/rspb.2014.1396]. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 282(1799).

Rejwan, A. (2011). The State of Israel: national water efficiency report: Planning Department of the Israeli Water Authority.

Reymond, P., Cofie, O., Raschid, L., and Kone, D. (2009). SWITCH Project Report, Design Considerations and Constraints in Applying Onfarm Wastewater Treatment for Urban Agriculture.

Schandl, H., Hatfield-Dodds, S., Wiedmann, T., Geschke, A., Cai, Y., West, J., . . . Owen, A. (2015). Decoupling global environmental pressure and economic growth: scenarios for energy use, materials use and carbon emissions. *Journal of Cleaner Production*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.100>

Scherr, S. (1999). Soil Degradation: A Threat to Developing-Country Food Security by 2020? Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper: 63. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute.

Senthilkumar, K., Mollier, A., Delmas, M., Pellerin, S., and Nesme, T. (2014). Phosphorus recovery and recycling from waste: An appraisal based on a French case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 87, 97-108. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.03.005>.

Seufert, V., Ramankutty, N., and Foley, J. A. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. [10.1038/nature11069]. *Nature*, 485(7397), 229-232. <http://www.nature.com/nature/journal/v485/n7397/abs/nature11069.html> - supplementary-information.

Sharma, S. K., and Vaira vamoorthy, K. (2009). Urban water demand management: prospects and challenges for the developing countries. *Water and Environment Journal*, 23(3), 210-218.

Simon, J. (2015). Case study 4: the story of Contarina: Zero Waste Europe.

Sorrell, S., O'Malley, E., Schleich, J., and Scott, S. (2004). *The Economics of Energy Efficiency: Barriers to Cost-Effective Investment Cheltenham*: Edward Elgar.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., . . . Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223). doi: 10.1126/science.1259855.

Swamy, H. M. S., and Bhakuni, N. (2014). Towards integrated land use transport plan. *Journeys*, May, 2014.

Takiguchi, H., and Takemoto, K. (2008). Japanese 3R Policies Based on Material Flow Analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 12(5-6), 792-798. doi: 10.1111/j.1530-9290.2008.00093.x.

UN (2012). The future we want. Outcome document of the United Nations Conference on Sustainable Development, Rio de Janeiro, Brazil, 20-22 June 2012.

UN (2015). World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. : United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015).

UNCTAD (2011). Water for Food- Innovative water management techniques for food security and poverty alleviation. *Current Studies on Science, Technology and Innovation*. Number 4.

UNEP (1997). World Atlas of Desertification, 2nd Edition. London: Edward Arnold.

UNEP (2009). Towards sustainable production and use of resources: Assessing Biofuels. A report of the Biofuels Working Group to the International Resource Panel. Bringezu, S., Schutz, H, O'Brien, M., Kauppi, L., Howarth, R.W., McNeely, J., Otto, M.

UNEP (2010). Assessing the environmental impacts of consumption and production: priority products and materials. A report of the Working Group on the Environmental Impacts of Products and Materials to the International Panel for Sustainable Resource Management. Hertwich, E., van der Voet, E., Suh, S., Tukker, A., Huijbregts M., Kazmierczyk, P., Lenzen, M., McNeely, J., Moriguchi, Y.

UNEP (2011a). Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth, A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel. Fischer-Kowalski, M., Swilling, M., von Weizsäcker, E.U., Ren, Y., Moriguchi, Y., Crane, W., Krausmann, F., Eisenmenger, N., Giljum, S., Henricke, P., Romero Lankao, P., Siriban Manalang, A.

UNEP (2011b). Green Economy Report. Nairobi: UNEP.

UNEP (2011c). Recycling Rates of Metals – A Status Report, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. Graedel, T.E.; Allwood, J.; Birat, J.-P.; Reck, B.K.; Sibley, S.F.; Sonnemann, G.; Buchert, M.; Hagelüken, C.

UNEP (2012a). Global Environmental Outlook 5: Environment for the future we want: United Nations Environment Programme.

UNEP (2012b). Measuring water use in a green economy, A Report of the Working Group on Water Efficiency to the International Resource Panel. McGlade, J., Werner, B., Young, M., Matlock, M., Jefferies, D., Sonnemann, G., Aldaya, M., Pfister, S., Berger, M., Farrell, C., Hyde, K., Wackernagel, M., Hoekstra, A., Mathews, R., Liu, J., Ercin, E., Weber, J.L., Alfieri, A., Martinez-Lagunes, R., Edens, B., Schulte, P., von Wirén-Lehr, S., Gee, D.

UNEP (2013a). City-Level Decoupling: Urban resource flows and the governance of infrastructure transitions. A Report of the Working Group on Cities of the International Resource Panel. Swilling M., Robinson B., Marvin S. and Hodson M.

UNEP (2013b). Environmental risks and challenges of anthropogenic metals flows and cycles. A report of

the Working Group on Global Metal Flows to the International Resource Panel. van der Voet, E., Salminen, R., Eckelman, M., Mudd, G., Norgate, T., Hirschier, R.

UNEP (2013c). Metal recycling: opportunities, limits, infrastructure. A report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. Reuter, M.A., Hudson, C., van Schaik, A., Heiskanen, K., Meskers, C., Hegelüken, C.

UNEP (2014a). Assessing Global Land Use: Balancing Consumption with Sustainable Supply. A Report of the Working Group on Land and Soils of the International Resource Panel. Bringezu S., Schütz H., Pengue W., O'Brien M., Garcia F., Sims R., Howarth R., Kauppi L., Swilling M., and Herrick J.

UNEP. (2014b). Decoupling 2: technologies, opportunities and policy options. A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel. von Weizsäcker, E.U., de Lardereel, J., Hargroves, K., Hudson, C., Smith, M., Rodrigues, M.

UNEP (2015a). The International Resource Panel: 10 key messages on Climate Change. Paris, France: United Nations Environment Programme.
UNEP (2015b). International Trade in Resources: A Biophysical Assessment, Report of the International Resource Panel.

UNEP (2015c). How consumption steers land use. Infographic highlighting findings from UNEP (2014a). Assessing Global Land Use: Balancing Consumption with Sustainable Supply. A Report of the Working Group on Land and Soils of the International Resource Panel. Bringezu S., Schütz H., Pengue W., O'Brien M., Garcia F., Sims R., Howarth R., Kauppi L., Swilling M., and Herrick J. <http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/50244/publications/Poster1-LandUse-FinalScreen.pdf>.

UNEP (2016a). Resource efficient and cleaner production. Retrieved 1st April, 2016, from <http://www.unep.org/recpl/>.

UNEP (2016b). Options for decoupling economic growth from water use and water pollution. Report of the International Resource Panel Working Group on Sustainable Water Management.

UNEP (2016c). Global Material Flows and Resource Productivity. An Assessment Study of the UNEP International Resource Panel. H. Schandl, M. Fischer-Kowalski, J. West, S. Giljum, M. Dittich, N. Eisenmenger, A. Geschke, M. Lieber, H. P. Wieland, A. Schaffartzik, F. Krausmann, S. Gierlinger, K. Hosking, M. Lenzen, H. Tanikawa, A. Miatto, and T. Fishman.

UNEP (2017). Resource efficiency: Potential and economic implications. A report of the International Resource Panel. Ekins, P., Hughes, N., et al.

UNIDO (2013). Green growth: from labour to resource productivity – best practice examples, initiatives and policy options.

UNIDO and UNEP. (2015). National Cleaner Production Centres - 20 years of achievement. Towards decoupling resource use and environmental impact from manufacturing growth: UNIDO.

UNSD (2015). National accounts main aggregates database: United Nations Statistics Division.

Van Berkel, R., Fujita, T., Hashimoto, S., and Geng, Y. (2009). Industrial and urban symbiosis in Japan: Analysis of the Eco-Town program 1997–2006. *Journal of Environmental Management*, 90(3), 1544–1556. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.010>

van der Kooij, S., Zwarteveen, M., Boesveld, H., and Kuper, M. (2013). The efficiency of drip irrigation unpacked. *Agricultural Water Management*, 123, 103–110. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2013.03.014>.

Van Vliet, A. (2013). Case study 1: The story of Capannori: Zero Waste Europe.

Von Witzke, H., Noleppa, S., and Schwarz, G. (2008). Global agricultural market trends and their impacts on European agriculture. Humboldt University Working Paper 84. Berlin.

WCRF and AICR (2007). Food, nutrition, physical activity and the prevention of cancer: a global perspective. 2nd Expert Report. Washington D.C.: World Cancer Research Fund, American Institute for Cancer Research.

Weizsäcker, E. V., Hargroves, K. M., Smith, H., Desha, C., and Stasinopoulos, P. (2009). Factor 5: Transforming the Global Economy through 80% Increase in Resource Productivity. UK Germany: Earthscan Droemer.

Westhoek, H., Lesschen, J. P., Leip, A., Rood, T., Wagner, S., De Marco, A., . . . Sutton, M. A. (2015). Nitrogen on the Table: The influence of food choices on nitrogen emissions and the European environment. (European Nitrogen Assessment Special Report on Nitrogen and Food.). Edinburgh, UK.: Centre for Ecology & Hydrology.

WHO (2007). Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition. In FAO/UNU (Ed.), WHO technical report series 935. Geneva.: World Health Organization.

Wijkman, A., and Skånberg, K. (2015). The Circular Economy and Benefits for Society. Winterthur: Club of Rome.

World Bank (2015). Decarbonizing Development – three steps to a zero-carbon future. Washington DC: World Bank.

WRAP (2016a). Innovative business models. Retrieved 2nd April, 2016, from: <http://www.wrap.org.uk/content/innovative-business-models-1WRAP> (2016b). The Courtauld Commitment. Retrieved 29th February, 2016, from: <http://www.wrap.org.uk/node/14507>.

WWAP (2015). The United Nations World Water Development Report 2015: water for a sustainable world. Paris, France: UNESCO.

WWF and Friends of Europe (2015). The future of food - building the foundations for change.

Yu, F., Han, F., and Cui, Z. (2014). Assessment of life cycle environmental benefits of an industrial symbiosis cluster in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(7), 5511–5518. doi: 10.1007/s11356-014-3712-z

Yu, F., Han, F., and Cui, Z. (2015). Reducing carbon emissions through industrial symbiosis: a case study of a large enterprise group in China. *Journal of Cleaner Production*, 103, 811–818. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.038>.

www.unep.org

United Nations Environment Programme
P.O. Box 30552 - 00100 Nairobi, Kenya
Tel.: +254 20 762 1234
Fax: +254 20 762 3927
e-mail: publications@unep.org
www.unep.org



過去数十年間にわたり、人類の繁栄と福利厚生
の面ではめざましい進歩がなされてきたにもか
かわらず、その裏には自然環境の劣化や天然
資源の枯渇という犠牲があった。豊かな人口
の増加と成長に伴うニーズに対するため
には、天然資源の採取量を現在の850億トン
から2050年までに1,860億トンに引き上
げる必要があるが、不可逆的な環境破壊をも
たらし、人類の生存と開発に欠かせない資源
を継続的に供給する地球の能力を毀損しかね
ない。

本報告書の分析結果によれば、資源効率性を
向上させ気候変動に対処する政策や取り組み
を実施すれば、ベースラインと比較して2050
年までに世界の資源採取量を最大で28%削
減することができる。資源採掘の速度を低下
させることに加えて、世界の経済活動を1%
増加させるとともに、温室効果ガス排出量を
60%削減することができる。

本報告書は、G7国の首脳からの依頼を受け
て、持続可能な開発の重要な要素として資源
効率性を促進する観点からUNEP国際資源パ
ネルが作成したものである。本書の作成にあ
たっては、資源効率性の見通しと方策を評
価し明らかにするために厳密な調査を

実施した。資源消費の効率化が、物質、エ
ネルギー、バイオマスおよび水の世界消費
量を削減しその消費による環境影響を軽
減しつつ、経済成長、雇用および開発にど
のように貢献できるかについて検討した。

世界各国の様々な部門における資源効率性
向上の優良事例も多く掲載した。こうした
優れた取り組みに学んでその拡大を図ると
ともに、資源効率性向上に伴う社会的、環
境的および経済的な便益を各国が享受で
きるような転換政策を策定・実施すること
が政策決定者に課せられた課題である。資
源を効率的かつ持続可能に使用するため
の野心的な取り組みは、持続可能な開発
に関する2030アジェンダや気候変動パリ
協定における公約の達成、すなわち、よ
り公平で持続可能な未来の実現にむけた
道筋を世界が歩む一助となる。

問い合わせ先:

International Resource Panel Secretariat
United Nations Environment Programme
Division of Technology, Industry and Economics,

Email: resourcepanel@unep.org

Web: www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/487916/UK_Statistics_on_Waste_statistical_no-org/resourcepanel

仮訳: 本報告書の日本語訳は、国際資源パネル(IRP)事務局の許諾を受けて、日本国環境省の請負業務として、公益財団法人地球環境戦略研究機関(IGES)が実施しました。オリジナル版の変更等により、オリジナル版と翻訳の間に不一致が認められる場合、オリジナル版の内容が優先されます。