

GEO-5 地球環境概観 第5次報告書 上

—— 私達が望む未来の環境 ——

前付け

第1章 駆動要因

第2章 大気

第3章 陸

第4章 水

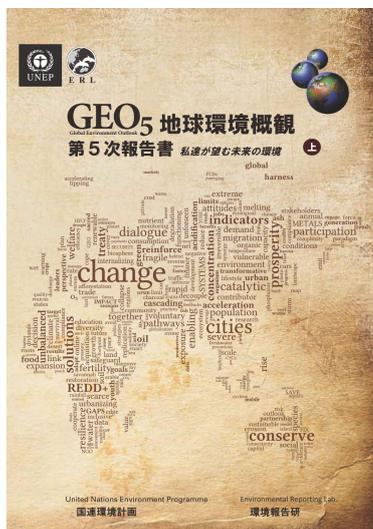
第5章 生物多様性

第6章 化学物質と廃棄物

第7章 地球システムの全体像

第8章 必要なデータの見直し

後付け



ここをクリックすると本の全体
を読むためのページが開きます。

2015年 10月 1日 発行

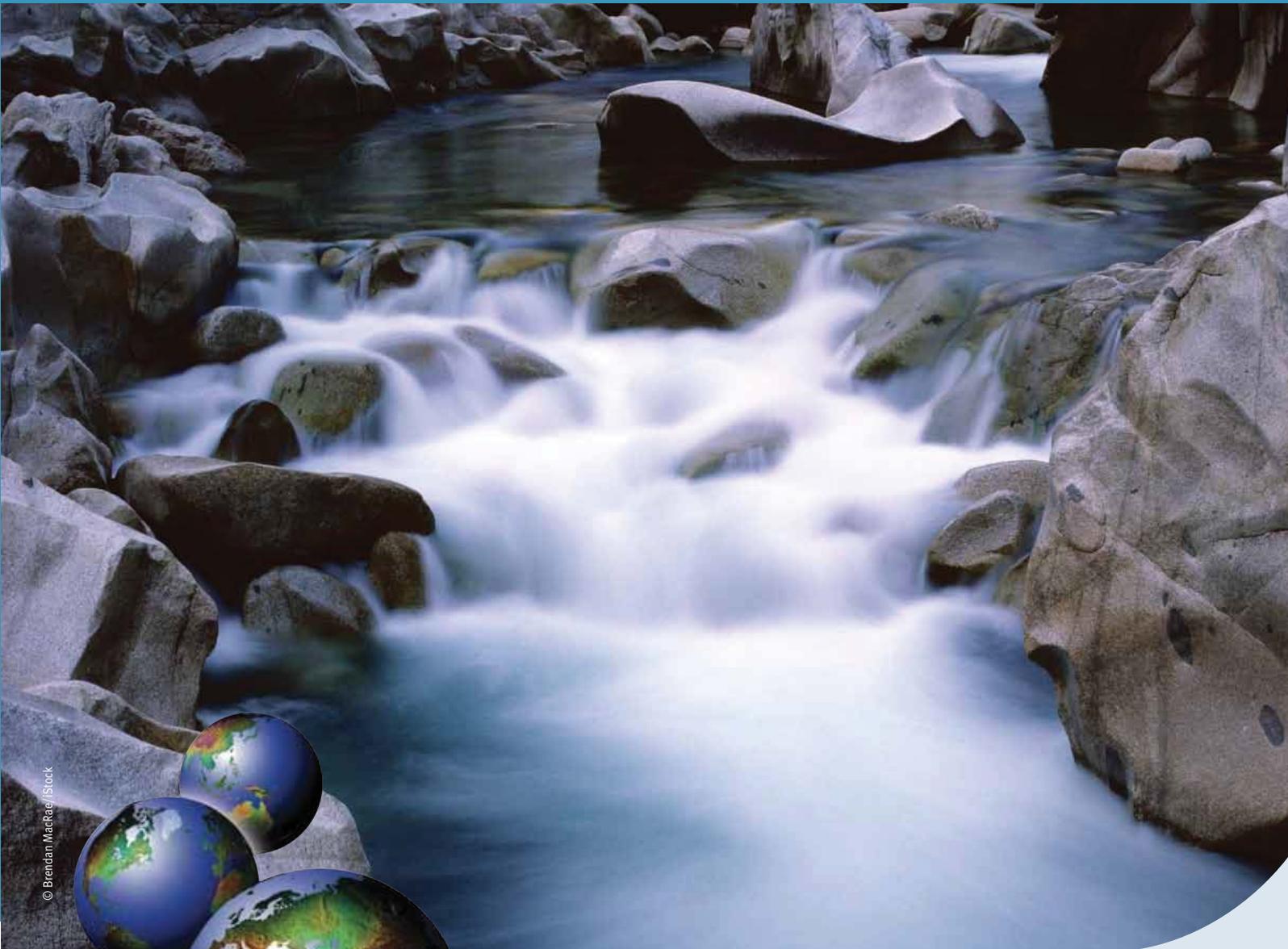
編 UNEP（国連環境計画）

発行所 一般社団法人 環境報告研
<https://www.hokokuken.com>

印刷者 大日本印刷株式会社

ISBN 978-4-9907-839-0-7

水



統括執筆責任者: Erica Brown Gaddis, Paul Roger Glennie, Yi Huang and Walter Rast

執筆責任者: Magdi Abdelhamid, Maite Aldaya, Björn Alfthan, Peter Koefoed Bjørnsen, Mariele Evers, Gensuo Jia, Ljubomir Jeftic, Alioune Kane, Santiago Reyna and Judith Weis

執筆協力者: Hermanni Backer, Hans Günter Brauch, Eberhard Braune, Salif Diop, Carlo Giupponi, Sherry Heileman, Lawrence Hislop, Tiina Kurvits, Robin Mahon, Liana Talaue-McManus, Lisa Speer and Jaap van Woerden

主科学査読者: Úrsula Oswald Spring

章編集者: Salif Diop

主要メッセージ

すべての部門での水利用効率を増大させることが、あらゆる用途に対して持続可能な水資源を確かなものとする上で極めて重要である。人による水の需要は、利用効率の改善が不十分なまま増加しており、多くの地域で既に持続不可能になっている。それでも、効率の向上の余地はまだ残されている。例えば灌漑効率は、既存の技術を駆使するだけで、3分の1程度は向上できるだろう。地方レベルでは統合的な需給戦略が重要である。河川流域レベルではより効率的で公平な水の配分システムが必要である。もっと広域のレベルでは仮想水取引によって、いくつかの場所の水需要を抑制することができる。

生態系の必要水量を水配分システム内に組み込むという認識が、生命を支える生態系サービスを保護するのに役立つことになる。淡水と海洋の生態系サービスが人類の発展にとって決定的に重要であり、グリーン経済への移行に不可欠である。ところが、打ち出された計画目標が不適切であったり、データが不足していると、環境が必要とする水量が満たされているかを評価することが難しくなる。環境を含めた利水者間で、効率的に公平に水を配分するための、より良い方策や手法が必要である。国際的な公約を完全に実施すること、法律的拘束力のある協定を完全に執行すること、そして利水の慣行的秩序に十分配慮することによって、人と生態系にとって持続可能な水利用が促進される。

点源汚染と非点源汚染の両方を削減することが、生態系の健全性を増進し、かつ人に安全な水を提供するために欠かせない。多くの水域がまだ影響を受け、多くの新

たな汚染物質の影響がほとんど解明されていないけれども、いくつかの汚染物質の削減に1992年以降かなりの成果が見られた。都市や工場の廃水処理は、既存の技術で達成可能であるが、開発途上国においては特に、よりふさわしい規制制度や、基盤施設への投資や、能力向上が必要である。淡水と海洋の両システムの非点源汚染を減らすには、統合的な土地水管理や、利害関係者の参画が必要である。

水の供給と衛生設備の改善は、おそらく、水関連の死亡と疾病を世界的に削減するための、単独で最もコスト効率の良い手段である。水の供給に関するミレニアム開発目標（MDG）のターゲット（半減）は、2010年に達成されたが、2015年になってもまだ6億人以上が安全な飲料水を利用できないだろう。衛生に関するMDGターゲットについては、改善された衛生設備を持たない人々が現時点で25億人おり、おそらく達成されないだろう。そのことによって最も影響を受けるのは、貧しい農村の人々である。水の供給と衛生に関するMDGが達成されると、水関連の世界の疾病負荷は約10パーセント減るだろう。それには基盤施設への投資、能力向上、それに規制が必要であり、また水管理と水系感染症の予防のために女性の参画が極めて重要である。

極端現象と気候の変動性の増大に対処するには、水に関連する全部門にわたって気候に鋭敏に対応する政策が不可欠である。洪水と干ばつは、依然として毎年数十億ドルの損失を引き起こしている。気候変動は水の循環を変えつつあり、多くの地域で人の水安全保障だけでな

く淡水と海洋の生態系を脅かしつつある。外洋は、表面水の温度上昇と海面上昇となって現れている気候変動の影響を受けながらも、地球の気候と気象パターンを調節する重要な役割を果たしている。海洋の温度上昇と酸性化によって、熱帯サンゴ礁の生態系が脅かされ、2050年までには急激に縮小すると予想されている。気候変動の影響を緩和し適応するには、他の駆動要因や圧力の状況に合わせた検討が為されなければならない。エネルギー生産に関しては、人的なエネルギー必要量、水需要、生態系保護の間のトレードオフが必要になるだろう。

淡水資源や海洋資源に対して需要が増大していくベ-ースは、ガバナンスを向上させることによって、環境との適合が計られなければならない。淡水系は、国や大陸域の全域において、人的活動と土地管理を結び付けている。外洋は、世界の重要なコモンズ（共有物）であり、効果的な国際協力とガバナンスを必要としている。人と環境の多くの水問題は、政策や制度、財政、そして利害関係者に関わる問題などの不適切なガバナンスに起因する。これらの制約に対処するための統合的な管理の取り組みが成功するには、時間と資源が必要である。そしてそのアプローチには、部門間やガバナンスのレベルの間の政策や制度の統合強化、関連する協定や目標の実施および執行、モニタリングの改善、国や行政範囲の境界をまたいで生じている問題（越境問題）の解決が、必要である。利害関係者と民間企業を参画させ、ジェンダーに配慮することなどを取り入れた、望ましいガバナンスが、社会や環境の回復力と持続可能性を高める上でとても重要である。

序文

水圏生態系は自然の営みと人間の営みを統合する重要な働きをしている。淡水生態系と海洋生態系は、汚染物質の最終の受け皿であり、人の活動の環境への影響が最も鋭敏に表れる指標の一つである。それらの生態系は広く多種多様な生命（第5章）を支えており、人の生存と生活を直接または間接的に支援し持続させる重要な財とサービスを提供している。適切な品質を満たす淡水の十分な供給を受けることは、国連総会の清浄水と衛生に関する宣言によって、人の権利として認められている。

ミレニアム生態系評価(MA 2005)の中で明らかにされているように、淡水と海洋の生態系は、供給サービス（食料、水、繊維、燃料）、調整サービス（気候、水文、浄化）、文化的サービス（精神、レクリエーション）、基盤サービス（堆積物の輸送、栄養塩循環）など様々なサービスを提供する。そのような生態系サービスは、水、陸、生物多様性、大気が相互に結び付いた機能である。健全な水圏生態系は、財やサービスを提供するだけでなく、環境の変動または災害によるマイナスの影響に対するレジリエンスも高める。また水のシステムは、世界の主要な生物学的、地球化学的な循環を駆動させている。外洋は地球の気候と気象パターンを調整する重要な役割を果たしている。

本章は、水環境の中で、個別ではあるが互いに結び付いている水文要素として、淡水システムと海洋システムを取り扱う。また GEO-5 のハイレベル政府間諮問パネルと地域協議会によって選定された、多国間環境協定における主な水関連の目標の達成状況を評価する。GEO-5 の評価に使用される、駆動要因－圧力－状態－影響－対応（DPSIR）という枠組み(Stanners *et al.* 2007)に基づき、本章は、水環境の現状、傾向、影響に焦点を当て、必要に応じて駆動要因（第1章）、対応策（下巻の第2部と3部）、他の環境部門（第2、3、5、6章）に言及する。

淡水生態系の財とサービスは広大であるが、水紛争や多部門からの需要によって、多くの地域で資源の乱開発と汚染がもたらされた。水量と水質の問題を含む水利用の競合と、それが持続可能な水資源に及ぼす影響が、生態系に必要とされる水と併せて議論される。また本章は、多くの国で起きている不均等で非持続的な水の需要について取り上げる。陸上や海洋での活動からくる汚染（第6章）は、沿岸地域と外洋をだめにし続けている。水質変化の動向も議論される。ひどい乱獲が続いていることが、多くの魚種資源、特に海の魚種（第5章）に影響を与えている。

多くの予測される世界の気候変動の影響が、水循環の変化となって現れるだろう。気候変動が水環境にどう影響を与えるのか、干ばつと洪水の頻度、期間、程度の増大を含めて明らかにされる。予測される気候変動の影響とその不確実性が、多くのコミュニティの脆弱性と、適応の必要性を含めて議論される。



マングローブは、海洋生物の重要な繁殖地であり、かつ高潮や他の自然災害から沿岸地域を保護する © Jeremy Sterk

流域は、河川、湖沼、貯水池、湿地、地中の帯水層、下流の海洋システムなどの水系群が相互に連結した一つのグループとして成り立っているが、水管理計画を立てる際に、これらの相互の結びつきが考慮されていないことが多い。このことは重大な手落ちである。なぜならいくつかは非常に困難ではあるが、世界が複雑につながっている状況の中で、疾病と貧困、経済発展と持続可能な環境の保全といった人の健康と社会的懸念に同時に対処するには、多くの場合、環境と経済のトレードオフが求められるからである。多くの水に関する問題が、政策、制度、財政、またはその他ガバナンスの不備に起因しているため、本章は、多国間の環境協定にて認められた淡水と海洋の両方のガバナンスの要素についても考察する。水に関連する目標を達成する上で、重要な政策やデータの欠落箇所を特定し本章を終える。本章で取り上げた問題に対処するための政策オプションは、GEO-5 の第2部（下巻）の全体を通して取り組まれる。

国際的に合意された目標

UNEP の GEO-5 のすべての大陸域スコーピング協議において、淡水が優先課題として選ばれた。そしてその淡水の最も重要な目標として、ほとんどの大陸域が、ヨハネスブルグ実施計画の第26節(c) (Box 4.1) を選定し、いくつかの大陸域は、水の利用可能量の問題と、海洋の問題を選定した。地球規模のデータや特定のターゲットが欠落しているために、制限はあるものの、水に関連する多国間の環境協定がどの程度まで取り組まれてきたのかを示すことが、本章の焦点である。

目標の選定は、1992年の国連環境開発会議（UNCED）以降とそれ以前の政府間協力について説明するに当たって、その政策の妥当性と機能に基づいて行われた（表4.1）。

Box 4.1 ヨハネスブルグ実施計画の第26節(c)

水資源のより効率的な利用、また競合する用途の間での水資源の有効な配分を、人の基本的な要求を充足することを優先しつつ、生態系とその機能の維持・再生のための必要（特に脆弱な生態系においては）と人の生活（飲料水の品質保全を含む）、工業、農業での要求を調和させながら行うこと。

出典: WSSD 2002

現状と傾向

水不足

乏しい水資源をめぐる人間と環境の競合

水不足 (water scarcity) は、環境、人の健康、開発、エネルギー安全保障、世界の食料供給にとって、深刻で増大しつつある脅威である(Pereira *et al.* 2009)。生命維持のための財とサービスを提供している生態系 (第5章) は、適切なタイミングで適切な量と質の水 (環境流量) を必要とするなど、多くの要請を抱えている。本報告書では「青の水」の不足 (図4.1) という指標が用いられるが、それは「消費された地下水と地表水の合計量」を「環境流量を除いた後の人間のために利用できる持続可能な水量」で割った値である(Hoekstra and Mekonnen 2011)。水不足は、世界人口の5分の1が物理的な水不足の区域に住んでおり、人の水安全保障における重要な因子である (Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture 2007)。

Falkenmark と Rockstrom(2004)は、生態系がその財とサービスを維持するために必要とする水量を、全利水量の 75% であるとし、直接的に人が使用する水量を全利水量の 25% と算定した。これらの計算には、「青の水」(地下水と地表水) と「緑の水」(土壌中に保持されている水) の両方が含まれている。水は、多くの場所で使われ過ぎていて、人と環境のニーズの両方にとって、不足する資源となっている (Gleick and Palaniappan 2010)。39 億人が住む世界の主要な 424 の河川流域での研究では、必要な環境流量が 223 の流域において満たされず、その流域の 26 億 7000 万人が、年間の少なくとも 1 か月間は厳しい水不足の状況に置かれている (図 4.1) (Hoekstra and Mekonnen 2011)。乾燥地帯であるアフリカ

Box 4.2 水不足

目標

環境が必要とする水を確保する。
湿地を保全し、その管理を向上させる。

指標

青の水不足 (blue water scarcity)

世界の傾向

悪化している。

最も脆弱なコミュニティ

生態系サービスに大きく依存する貧しいコミュニティ

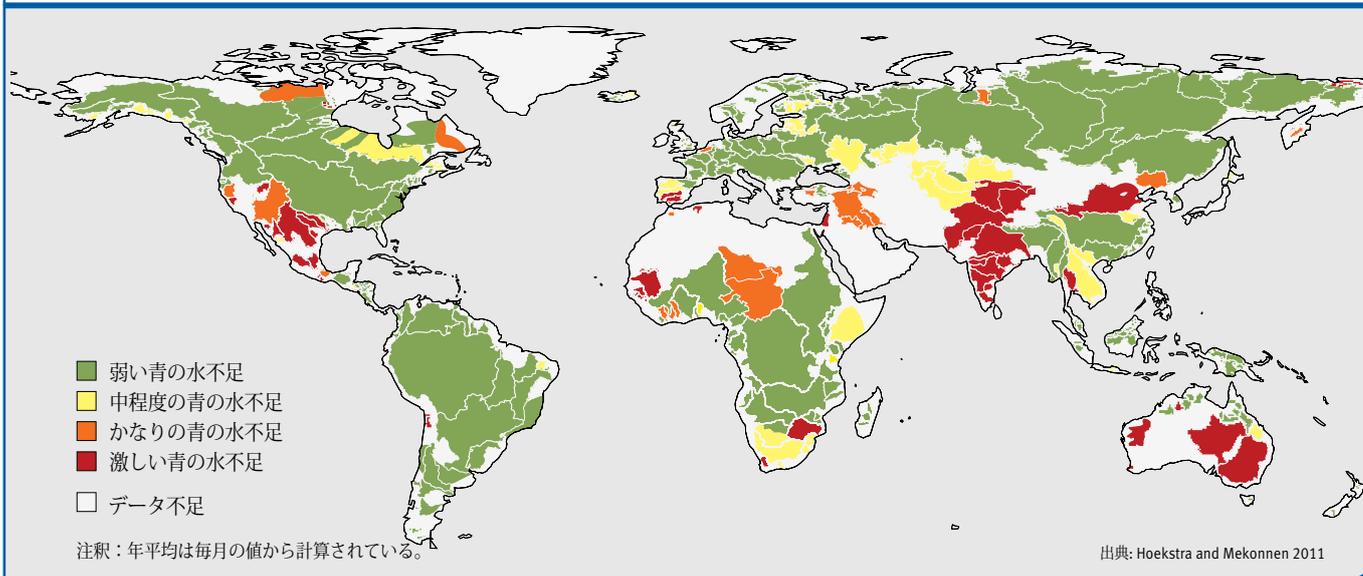
最も懸念される地域

西アジア、南アジア、中央アメリカ、オーストラリア

北部と中東はこの分析に含まれていないが、それ以外の地域のデータから、これらの地域で取水される再生可能な水の割合は全利水量の 50~75% を超過していて、環境流量が少ししか残らないことが示されている (FAO 2008)。

ヨハネスブルグ実施計画の中の多くの目標は、海洋と沿岸の生態系の重要性を認めているが (WSSD 2002)、正当な水の利用者である陸水生態系を支えるための水の必要性についての認識が乏しい (第5章)。多くの水界生態系が依然として危険な状況にあり、環境を正当な水の利用者であると正式に認める重要性が高まりつつあるが、その認識は実際にはまだ比較的小さな規模に留まっている (Garrick *et al.* 2009)。

図 4.1 主な河川流域での水不足、1996~2005年の年平均



水需要

全世界の取水量は、富と消費のレベルが高まり、成長していく人口による需要を満たすために、過去50年で3倍になった。この間、水の供給は比較的一定していたのに対して、需要は今や多くの地域で、持続可能な供給を上回っていて、厳しい長期的な影響が予想される(2030 Water Resources Group 2009)。利用された地下水と地表水が同じ流域内で再利用できない場合、人が消費できる青の水の惑星限界は、年間4,000km³であると推定されているが、現在の青の水の消費量は推定で年間およそ2,600 km³である。したがって、予測される水需要は、今後数十年で惑星限界に到達する可能性がある(Rockstrom *et al.* 2009)。

農業、工業、そして生活用の取水量は、着実に増加している。農業は、世界的に群を抜いて最も多く水を使用している(図4.2)。農業目的の取水は、長期にわたる過剰な灌漑取水によるためと、帯水層開発や大規模導水プロジェクトに依存していることから明らかなように、多くの地域で持続不可能である(MA 2005)。これらの取水は、増加し続けると予想されるので、水界生態系に対して一層の制約をかけることになる。それは、水界生態系も、その健全な状態の保持のために、適切な量と質とタイミングの水を必要としているからである。

多くのコミュニティが、農業や生活のための用水需要を満た

Box 4.3 水の需要

目標

適切な持続可能な淡水の供給を確保する。

指標

取水量、地下水の取水量、正味の水フットプリント

世界の傾向

悪化している。

最も脆弱なコミュニティ

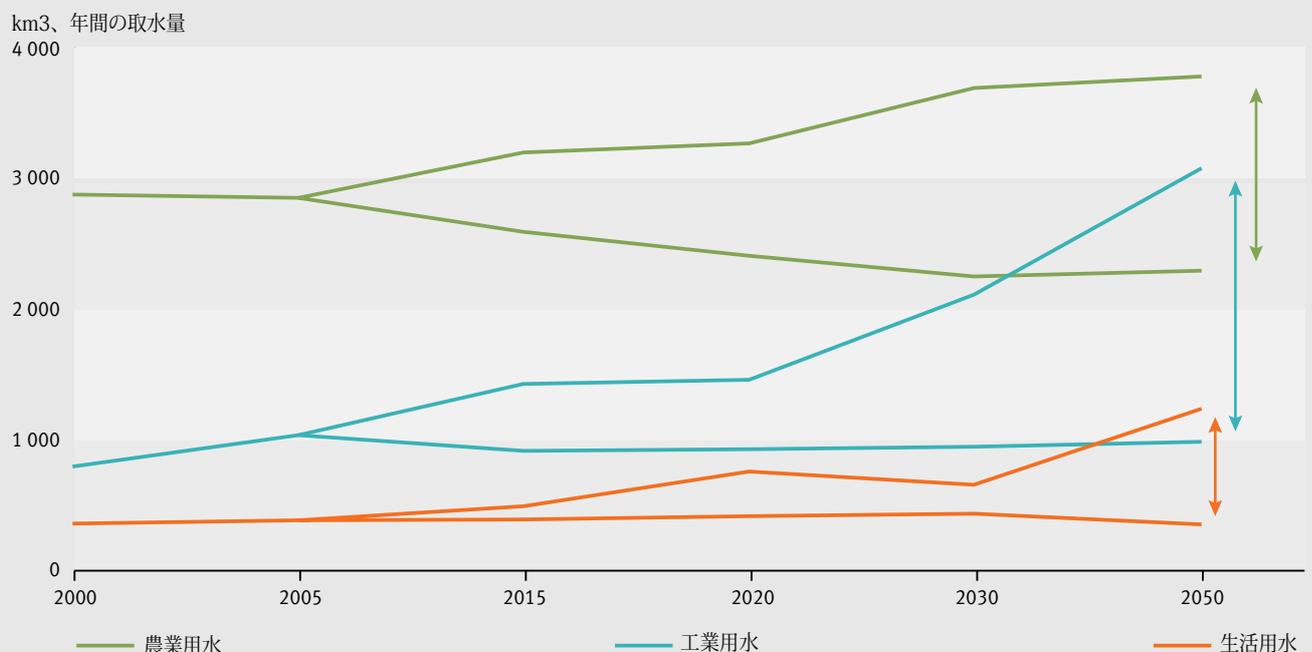
水需要が増加している開発途上国、地下水による灌漑農業に依存するコミュニティ

最も懸念される地域

地下水取水：アジア太平洋地域、北アメリカの一部
水フットプリント：北アメリカ、中南米およびカリブ諸国、ヨーロッパ

すために、持続不可能な地下水からの取水(帯水層開発)に依存していて、そのことが、さらに多くの地域の水安全保障を脅かしている。1960年から2000年の間に、全世界での地下

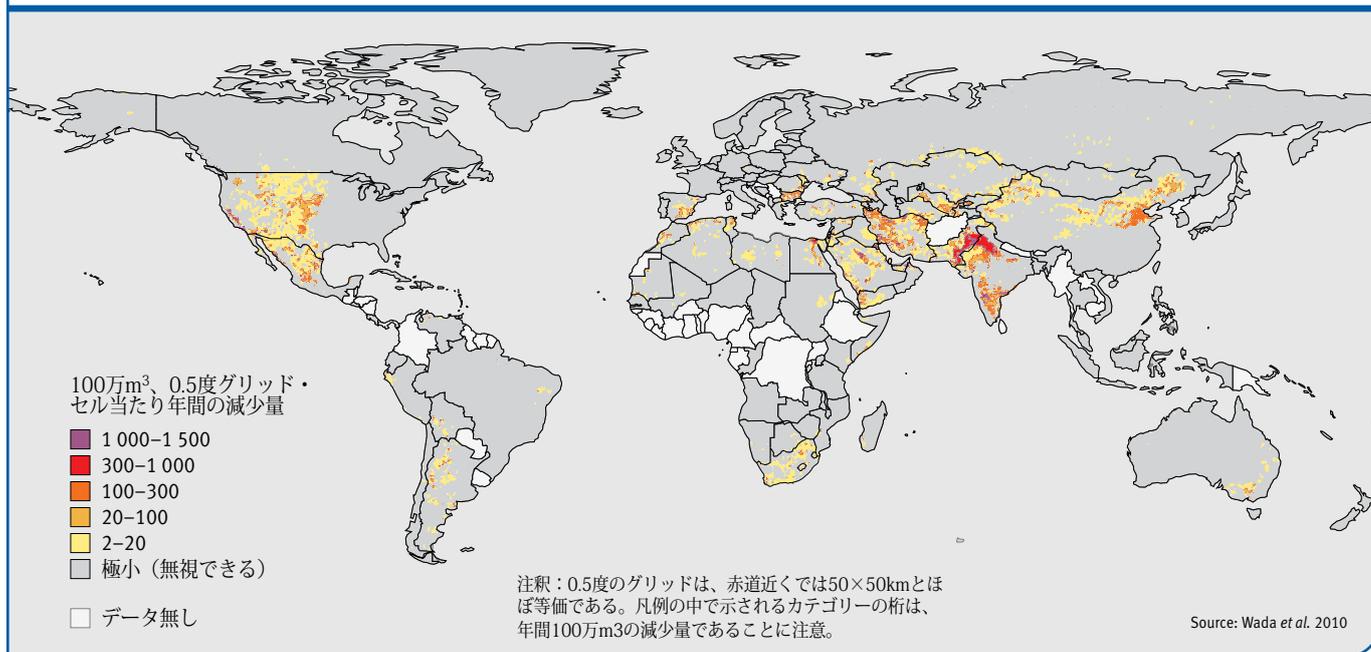
図4.2 部門別の取水量と将来予測、2000～2050年



注釈：グラフは、3つの異なるグループのシナリオ（ミレニアム生態系評価、GEO-4、OECD）を含み、各5年の区間での最大値と最小値の範囲を示す。

出典：CESR, University of Kassel, Germany; Alcamo *et al.* 2005a, 2005b (MA scenarios); Rothman *et al.* 2007 (GEO-4 scenarios); Bakkes *et al.* 2008 and OECD 2008 (OECD scenarios)

図 4.3 世界の年間の地下水の減少量、2000年



水取水が、年間 312 km³ から 734km³ に増加し、その結果、地下水の減少量が 126 km³ から 283 km³ に増加した(Wada *et al.* 2010)。世界的に重要な農業の中心地の多くは、特に、北西インド、中国東北部、北東パキスタン、カリフォルニアのセントラル・バレー、アメリカ西部などは、地下水に依存している (図 4.3) (Wada *et al.* 2010)。

取水された水の多くは、排水または灌漑の還元水となって戻されるので、すべての取水が消費されるわけではない。また天水農業は、直接的な取水を伴わないが、重要な人による水利用である。世界の 1 人当たり水消費量は、水フットプリントによって計測すると、年間平均 1,387 m³ である。北アメリカの一人当たり水フットプリントは、年間 2,798 m³ で最も多く、その一方でアジア太平洋地域は、1,156 m³ で最も少ない(図 4.4)。全世界の水フットプリントのうち、74%は土壌中に保持された雨水(緑の水)で、11%は消費に供される表面水と地下水(青の水)で、15%はすべての発生源からの汚染を希釈するために必要となる淡水(水フットプリントの用語で「灰色の水」と呼ばれる)である。農業が世界全体の水フットプリントの 92%を占め、家畜とその関連生産物だけで 27% (第 1 章) を占める (Mekonnen and Hoekstra 2011)。

水利用効率と仮想水取引

水が継続的に再生補充される水量はほぼ一定であるので、水不足への対策は、水の利用効率の向上と、消費される水使用を削減して水需要を減らすことにほぼ依存する。環境用水を含めて、全てのユーザーの需要を連動して検討しなければならない。

いくつかの大陸域では、全部門で手法や技術の改良によって利用効率が向上したけれども、生態系への影響と生態系の財やサービスへの影響を最小限にしながら、増大していく世界人口の幸福を確保するために一層改良する必要性があり、その実現の可能性はある。

人口の増大と食生活の変化(第 1 章)に対処するためには、2050 年までに、およそ 70% 多くの食料が必要とされるだろう



スプリンクラー灌漑システムは湛水システムより通常効率的である。© Pgiam/iStock

Box 4.4 水利用の効率

目標

水資源の効率的な使用を向上させる。

指標

灌漑効率；正味の仮想水取引

世界の傾向

ある程度の進展。

最も脆弱なコミュニティ

乾燥地域において灌漑農業に依存している人々；正味の仮想水を輸出している国々の貧しいコミュニティ

最も懸念される地域

西アジア、アジア太平洋地域、アフリカの各地、中央アメリカ

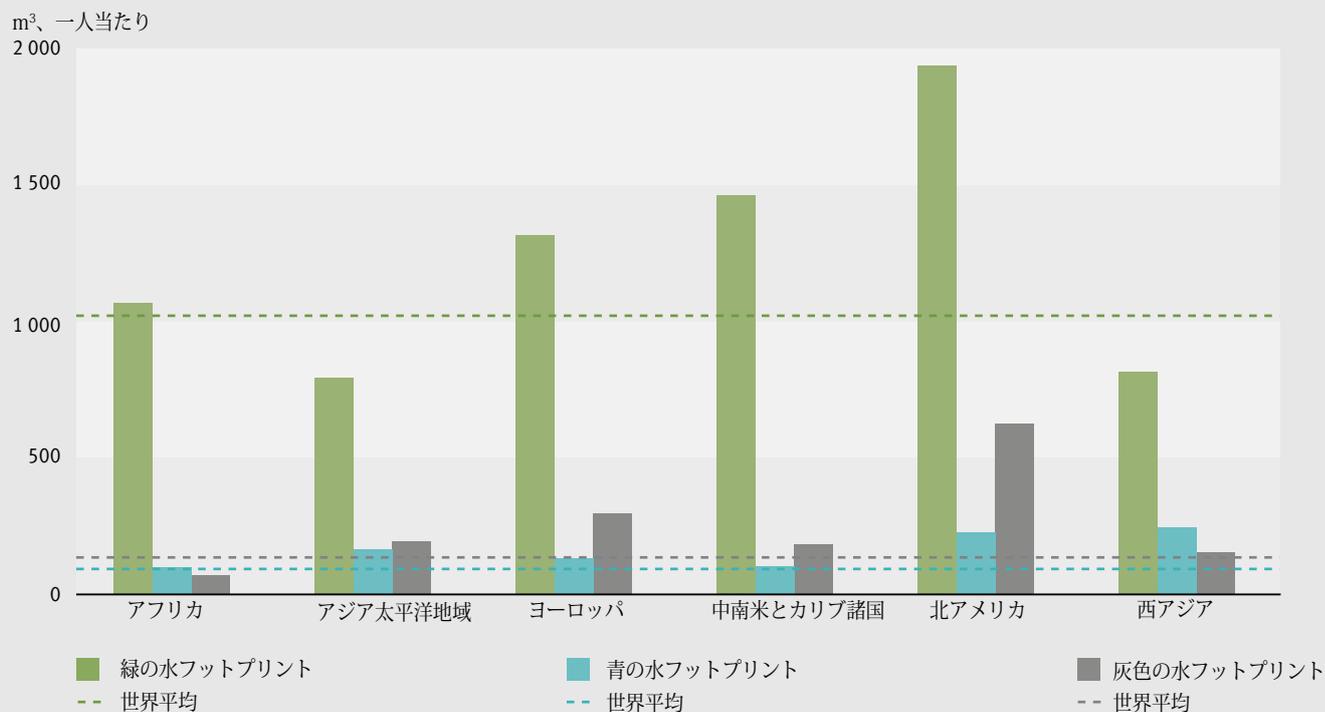
から、改良の必要性と可能性は農業部門（図 4.5）が最も大きい(Boelee 2011)。灌漑における灌水、送水、配水、管理、の改善によって、およそ 35～75%あるいはそれ以上に、水が作物に到達するまでの水の全システムの効率を上げることができる(Rohwer *et al.* 2007)。農業用水の利用効率に関わるより幅広い戦略としては、土地水管理と再利用などがあるが(Ali

2010)、農場を超えての食料供給チェーンにおいても、より多くの水の効率化が可能である。

工業や生活での水利用効率の全体的な状態と傾向を評価するには、グローバルなデータが足りない。それでも、特に大規模な取水がなされているところや、急速な都市化が起きているところでは、工業部門や生活部門に著しい改善のチャンスがある（第 1 章）。また持続可能で、公平で、経済的な水使用を確保するには、河川流域レベルで、水の分配を効率化することが必要である。

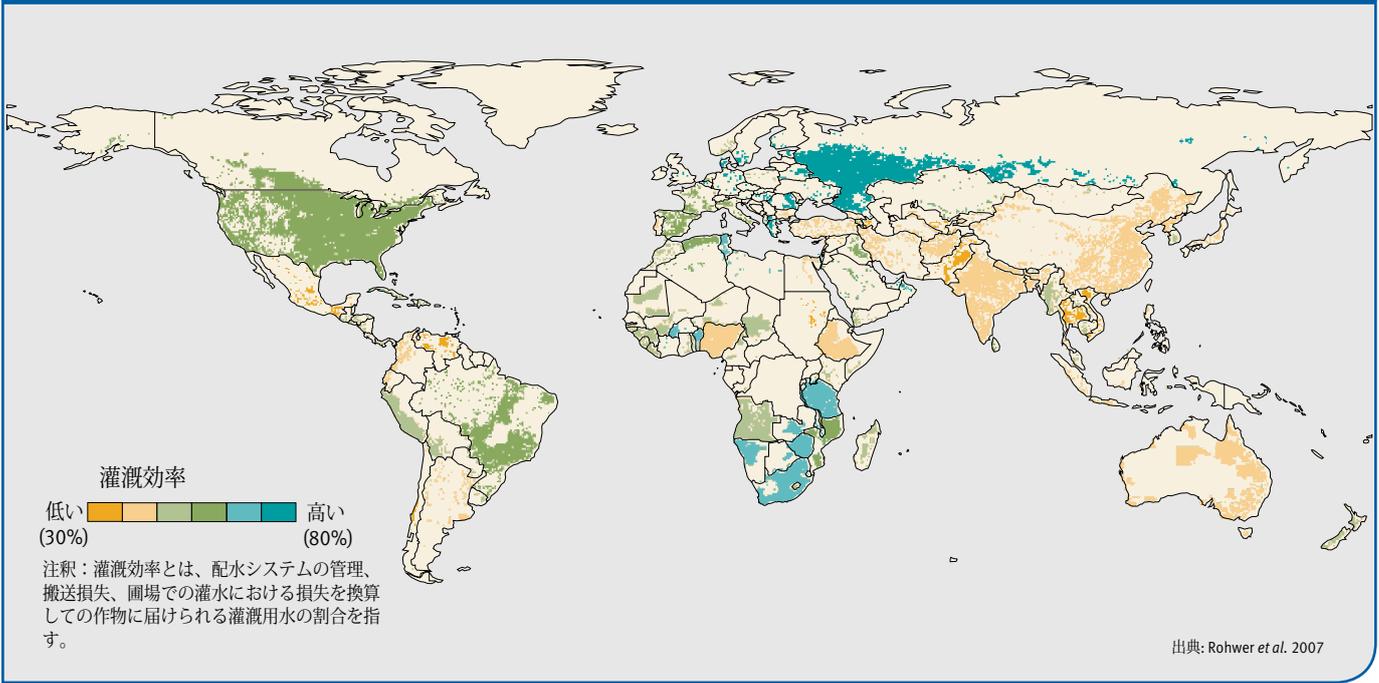
国、大陸域、そして世界規模での、仮想水取引（農作物から工業製品に及ぶ、取り引きされた生産物に組み込まれた水）は、特定の地域で一定量の水を使用することの比較優位を生かすことによって、全体的な効率を向上させるツールになり得る。世界の水フットプリントのおよそ 5 分の 1 は、輸出向けの生産と関係がある（図 4.6）。農業と工業製品に対する世界の仮想水取引は、1996 年から 2005 年にかけて年間合計 2,320 km³ で、そのうち農作物が 76%、畜産物と工業製品が共に 12%であった(Mekonnen and Hoekstra 2011)。仮想水取引は、効率的に水を再分配することができ、また消費による影響と生産による影響とが分離されることに、部分的に対処する役割も果たすことができる（第 3 章）。例えば、水が乏しい流域や国や大陸域では、乏しい水資源をより貴重な目的のために温存して

図 4.4 世界と大陸域の年間の水フットプリント、1996～2005年



出典: Mekonnen and Hoekstra 2011

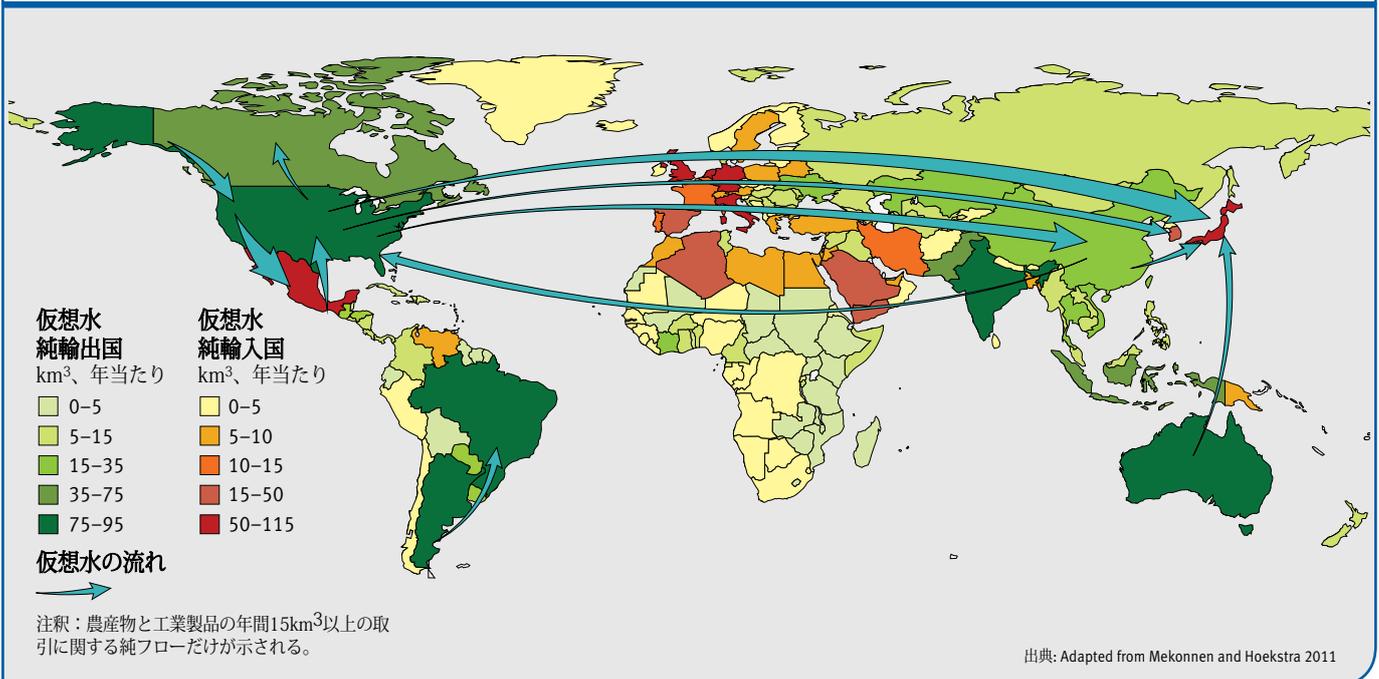
図 4.5 世界の灌漑効率、2000年



において、水集約的な産物を取引を通じて輸入することができる。しかし、特に、強い経済的な駆動要因によって商品の輸出が促進されている場合には、基本である地方ニーズよりも商品の水ニーズが優先され、純輸出国において水資源の乱開発が引き起

こされる場合がある（第1章）。またもう一つの特性は、中央ヨーロッパの場合のように、いくつかの純輸入国が、豊富な水供給量を持っている一方で、オーストラリアや南アジアのようないくつかの仮想水の純輸出国が、水不足の状態になることである。

図 4.6 世界をめぐる仮想水の輸入と輸出とその流れ、1996～2005年



流況の変動

極端現象：洪水と干ばつ

1980年代以降に、10人以上の人々が亡くなったり、100人が被災したり、非常事態が宣言される場合や、国際的な援助が要請される場合(EM-DAT 2011)など、災害として分類される洪水や干ばつが増加して、影響を受ける面積や人の数と被害程度が大きくなっている(EM-DAT 2011; Rosenfeld *et al.* 2008; Kleinen and Petschel-Held 2007)。河川の人工水路化、氾濫原の損失、特に沿岸地域における都市化、土地利用の変化が、洪水や干ばつの影響を増大させると共に、影響に対する脆弱性も大きくしている主な要因である(第1章)。影響を被る人々の数や被害の総数が著しく変化するので、確信を持って傾向を特定することが困難になりつつある(Lugeri 2010)。脆弱性は、極端現象を予想し対応するための準備や能力によって左右される。突然発生する災害(洪水)や、徐々に広がる災害(干ばつ)に対処するための準備の度合いは、地域によって異なる(IOM 2010)。

洪水は、毎年、人命の損失と何十億ドルの被害を引き起こしているが(図4.7)、先進国においては、金融上の評価額が高いことや、資産保険による損害補償額が高いために、より大きな経済損失を伴うことになる。1980年代から2000年代の間に、洪水災害の発生数が230%上昇し、被害レベルを増大させることになった(図4.7)(EM-DAT 2011)。さらに、洪水にさらされる人々の数が114%増加した(UNISDR 2011)。例えば、1970年から2008年の間の自然災害に関係した死者の95%以上が、開発途上国で発生しており(IPCC 2011)、南アジアと東アジアの政府は災害に対する備えのレベルを上げた

Box 4.5 極端現象

目標

水に関連する極端現象の影響を緩和するための計画を開発する。

指標

洪水と干ばつによって影響を受けた人々の数；
洪水と干ばつによる被害総計

世界の傾向

いくつかの年または地域で、ささやかな進展があり、その他では悪化する状況にある。

最も脆弱なコミュニティ

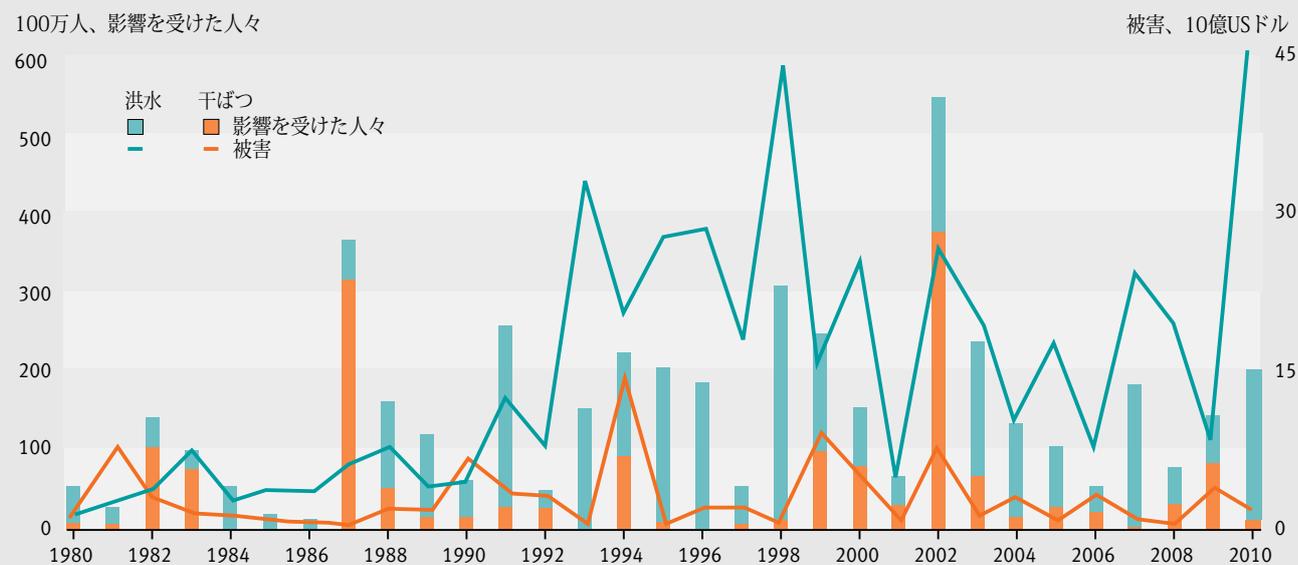
三角州、低平地、河川の氾濫原の中の開発地、島、排水設備の不十分な都市部は、洪水に弱い；天水農業に直に依存するコミュニティは、干ばつに弱い。

最も懸念される地域

洪水に対しては、東南アジア、北アメリカ(ミシシッピ流域)、中南米(アマゾン流域)；
干ばつに対しては、小島嶼開発途上国(SIDS)、西アジア、アフリカ北部と西、オーストラリア、南アジアと中央アジア

が、そのような極端現象に対処するコミュニティの能力が、社会的な能力不足と洪水の深刻化のために弱まりつつある(Osti *et al.* 2011)。将来に目を向けると、北半球と赤道域で、降水強度がより高くなることが予測され、また既に乾燥した地域や

図4.7 洪水と干ばつによって影響を受けた人々と関連する被害、1980～2010年



注釈：2011年のタイとパキスタンにおける大洪水のコストは、ここに含まれていない。

出典：EM-DAT 2011

半乾燥地域の多くでは、より乾燥することが予想される(IPCC 2007a)。

干ばつ災害の数が 1980 年代と 2000 年代の間に 38% 上昇し、その影響を被った人々の数が増加し、関連する被害も増加した(EM-DAT 2011)。干ばつは、ミレニアム開発目標(MDG)の達成を妨げ、持続可能な社会経済の発展を分断させ、さらに生態系にストレスを及ぼす。世界の作物生産のおよそ 70% を占める天水作物に依存している地域社会は、多くの場合、国際援助以外には、代替となる食料資源をほとんど持っていない(Portmann *et al.* 2010)。このことは、東アフリカで進行中の厳しい干ばつによって実証され、また中南米、アフリカ、東南アジアにおける純一次生産量の減少によっても実証されている(Zhao and Running 2010)。また干ばつは、灌漑に影響を与え、特に気候変動の状況の中で、とりわけ脆弱な乾燥地域と半乾燥地域で、水資源の争いを悪化させる可能性がある。

ダムと河川分断化

ダムの建設と河川の制御は、洪水を防ぎ、信頼できる水供給と水力発電による電力を提供して、人類に大きな恩恵をもたらす。しかしまた、ダムは、流路を分断し流れを調整することによって、生態系プロセスを変化させ、水生生物の、特に移動性の種に作用して、生態系に有害な影響を及ぼすことがある。環境流量を確保し、かつ魚道を保持するかまたは創設して、既存のダム管理を改善することが、両者の競合を緩和するために重要である。しかし多くの場合、そうした方策は、改善策として十分なものとなっていない(Gleick 2003)。新しいダムの設計と配置と操作によって環境影響を最小にしていくには、精緻なトレードオフ分析が必要である(Matthews *et al.* 2011)。

Box 4.6 ダムと河川分断化

目標

適切で持続可能な淡水の供給を確保する。
水に関連する人の健康被害を削減する(洪水防止)。陸水生態系とそれらのサービスを保護し回復させる(多くの場合は対立的である)。

指標

ダムの密度

世界の傾向

ダムの密度は増加している。持続可能な淡水を適切に供給することに、ある程度の進展が見られる。陸水生態系とそれらのサービスは劣化している。

最も脆弱なコミュニティ

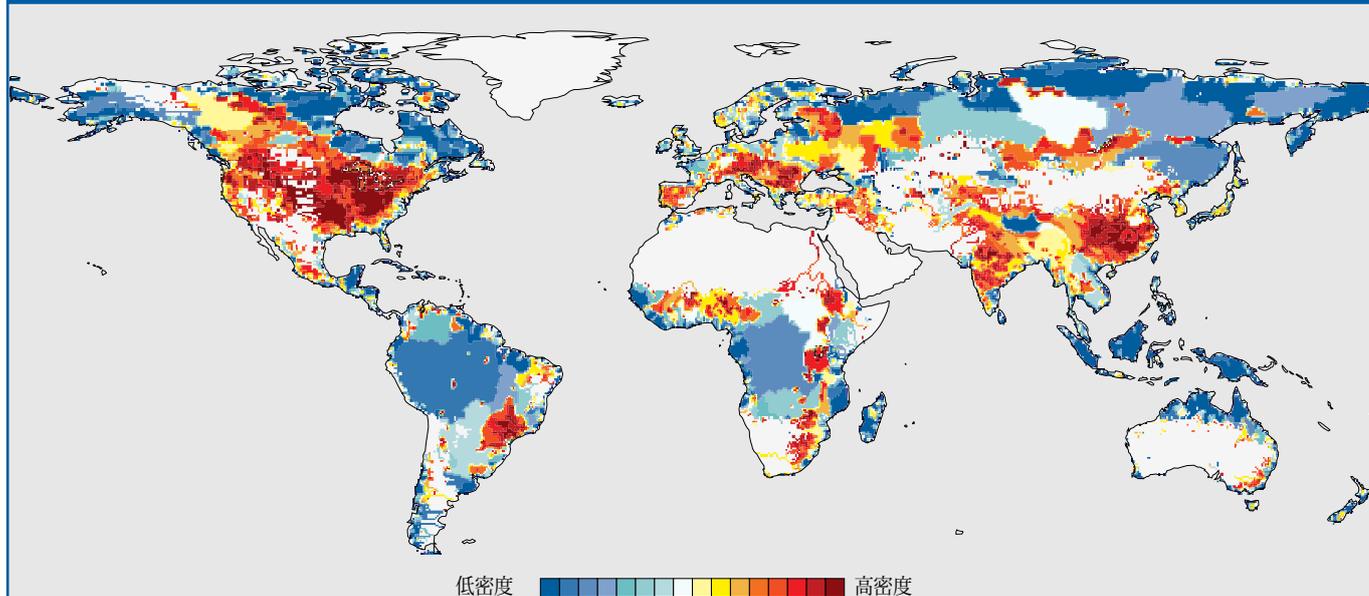
ダム建設によって立ち退かされた人々。
水の供給をダムに依存する人々。

最も懸念される地域

開発途上国、アジア、アフリカ南部

より適した場所にダムがすでに建設済みであったり、最近の法令や公共の圧力がダム建設を認めないために、先進地域における建設は減速してはいるが、ダムの密度は工業先進国が最も高い(図 4.8)。しかし一方、多くの開発途上国では、水と電気の供給を確保するためにダムが次々に建設されている。この

図 4.8 世界中の中規模から大規模なダムの密度



出典: Vörösmarty *et al.* 2010

傾向は続きそうであり（第1章）、ダム計画は、気候変動によって予想される何らかの流量変化の増大を考慮すべきである。

淡水と海水の質

地下水汚染

世界中の地下水は、農業や都市部からの汚染、固形廃棄物、現場での廃水処理、油やガスの抽出と精製、採鉱、製造工業、ならびにその他の工業汚染源、によって脅威にさらされている。



採鉱や鉱物の抽出は、河川の水位や地下水位を著しく低下させることがある。© BanksPhotos/iStock

Box 4.7 地下水汚染

目標

地下水汚染の影響を緩和する。

指標

ヒ素、硝酸塩、塩化

世界の傾向

いくつかの区域で非常にわずかな進展。その他は悪化している。

最も脆弱なコミュニティ

下水設備が不適切な急速に都市化している区域の人々。

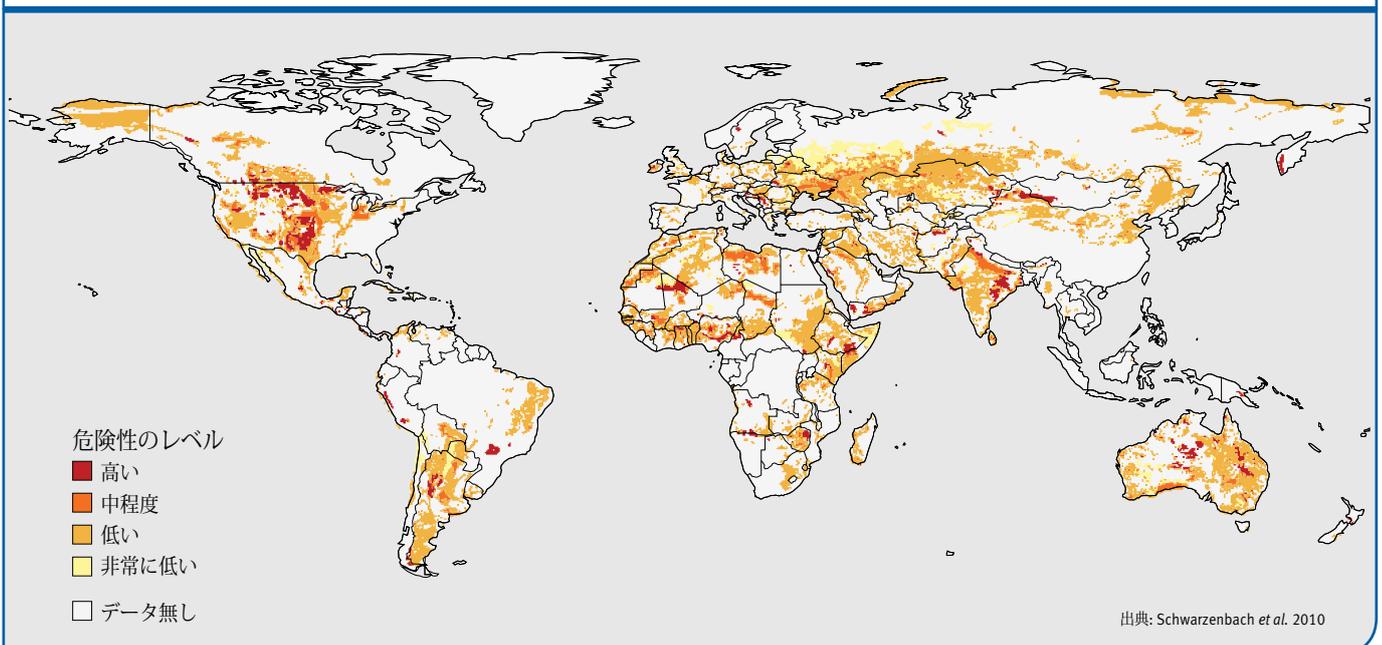
最も懸念される地域

ヒ素は、バングラデシュ、インド、東南アジアにおける人口密度の高い三角洲、北アメリカ、東ヨーロッパ、で特に懸念される。

その根本原因は、これらの活動に対する制御が不適切であることと、これらが地下の土壌や地層の持つ自然の浄化能力を超えていることである(Foster *et al.* 2006)。乱開発による帯水層の塩水化が、特に海岸地域で、とりわけ飲料水を地下水に依存する地域社会にとって、新たな深刻な懸念となっている。

地下水の硝酸塩濃度は、特に、急速に都市化されている区域、下水設備が不足している区域、農業用肥料の多量施用がなされている区域で高くなっている。地下水中の硝酸塩は、富栄養化をもたらし、人の健康に直接影響を及ぼす。自然発生のヒ素と、

図 4.9 水文地質状況に基づいて推定される飲料水中のヒ素の危険性



人の活動によって発生するヒ素の両方が、多くの国々で飲料水の品質を脅かしている（図 4.9）。元々地層に存在する発生源由来のヒ素で汚染された地下水によって、3,500 万～7,500 万の人々が影響を受けている。地表水汚染のために地下水を飲料水の源泉として開発したいくつかの地域で、こうした自然発生したヒ素に人々をさらす予想もしなかったことが起こっている（Schwarzenbach *et al.* 2010; Brunt *et al.* 2004）。

病原性の汚染

地表水と地下水の病原性の汚染は、多くの地域の人々の健康にとって重大な脅威であり、地域社会の多くで水処理コストを高める原因になっている。ほとんどの先進国では、下水を収集して処理しており、微生物汚染は過去数十年にわたって減少した。先進国とは対照的に、多くの開発途上国では、微生物病原体は、しばしば喫緊の水質問題となっている（図 4.10）。

人と動物の糞便が、水質汚染となる主要な病原体の源泉であることから、2015 年までに基本的な下水設備を持たない人口の割合を半減させるというミレニアム開発目標の 7c が達成されれば、その汚染を減らすことになるであろう。しかし、いくつかの地域ではかなりの進展が見られるものの、現時点で世界的にはこの目標に着実に向かっているとは言えない（図 4.11）。特にアフリカや南アジアの最も貧しい地域社会や個人

Box 4.8 病原性の汚染

目標
下水の収集、処理、処分を行う下水設備の普及率を向上させること；
淡水汚染と海洋汚染を削減し抑制すること。

指標
糞便由来の大腸菌濃度；
改良された下水設備を利用できない人々の数。

世界の傾向
ある程度の進展。

最も脆弱なコミュニティ
最も貧しい農村社会の大部分。

最も懸念される地域
アフリカ、南アジア、南太平洋。

にとって、依然として下水設備は改良されていない（WHO 2012）。ミレニアム開発目標の下水設備の目標が今後達成されたとしても、下水を収集して処理する施設の提供を伴うものでなければ、改良された衛生設備の利用の増加で、未処理の排水

図 4.10 主要都市の近くの川の糞便由来の大腸菌濃度（水媒介性の病原体の指標） 1990～2011年

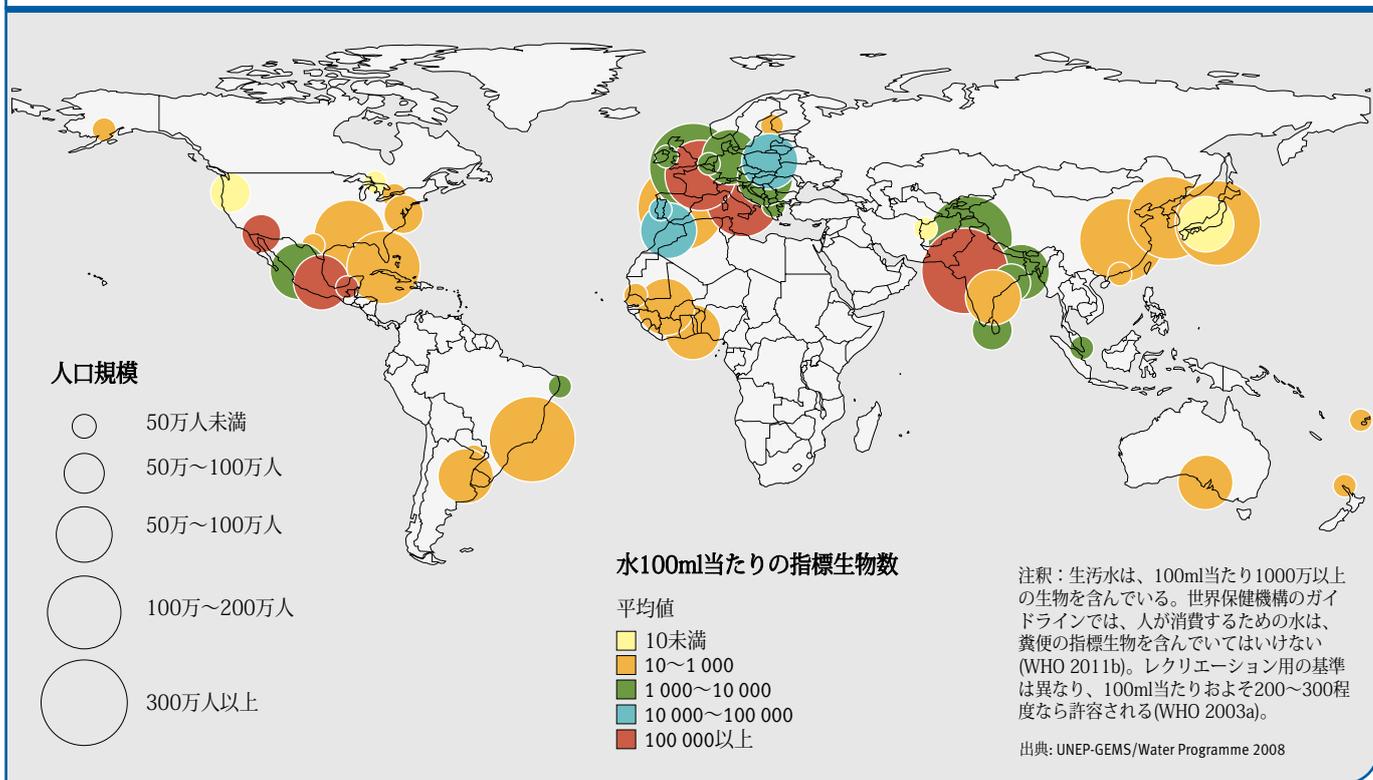
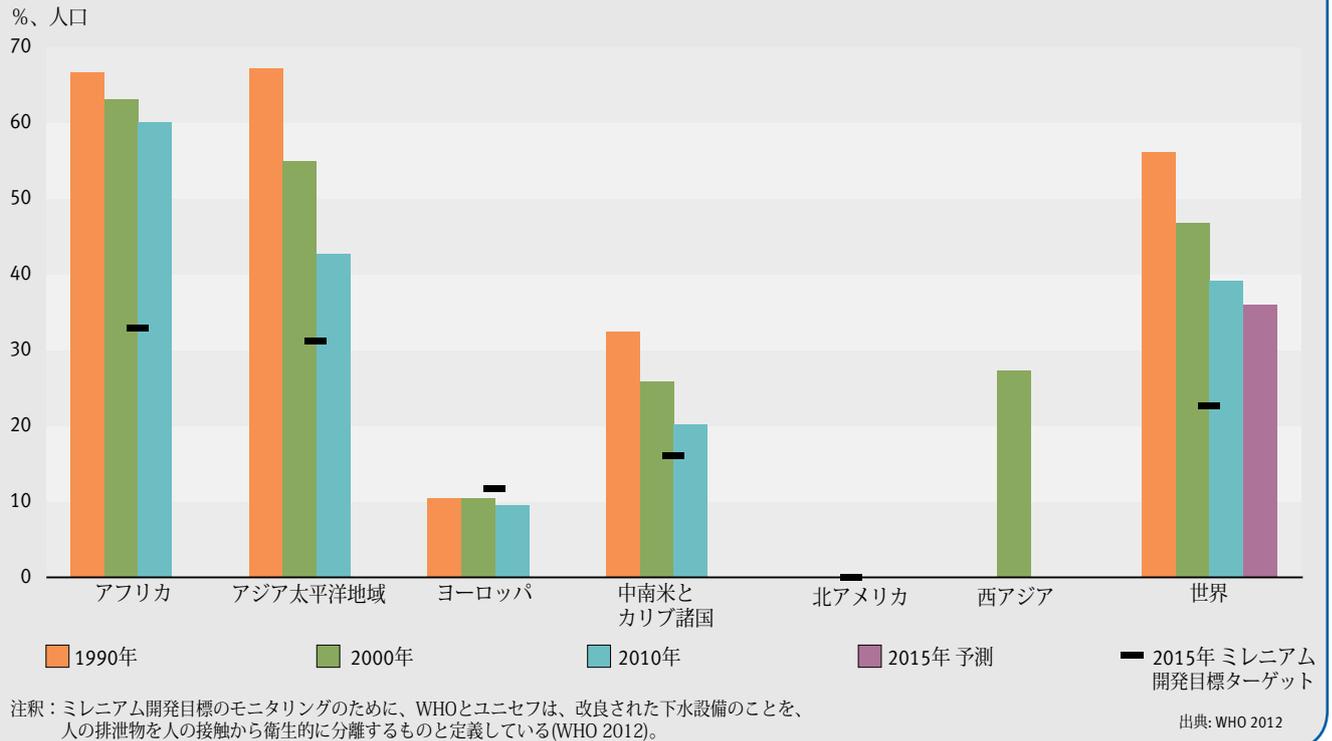


図 4.11 改良された下水設備を利用できない人口数とミレニアム開発目標ターゲットとの対比、1990～2015年



が水域に流れ込み、下流の水質をさらに低下させるという、意図しないマイナスの影響を招きかねない(Biswas and Tortajada 2011)。

栄養塩汚染と富栄養化

生活排水、畜産廃棄物、肥料、大気降下物、侵食由来の過度の栄養塩汚染による富栄養化は（第3章）、引き続き蔓延している水質問題である。多くの区域で排水処理は増えたが、農業

排水や都市排水、淡水系や海洋系への大気降下物、などの面源（非点源）由来の栄養塩負荷の軽減はほとんど進んでいない。地球規模の栄養塩循環の改変は、これらのプロセスに対する具体的な閾値がまだ明確になっていないわけではないが、海洋生態系および陸水生態系によって回復できる限界を超えて惑星限界に到達している可能性がある (Rockstrom *et al.* 2009)。

世界の河川の栄養塩流出は、1970年以降、およそ15%増加した。南アジアがその増加の少なくとも半分を占めている (Seitzinger *et al.* 2010)。1970年以降、湖沼における藻や大型水生植物の全発生量は74%増加した (Lewis 2011)。また1990年以降、富栄養状態になっている沿岸地域の数が劇的に増加した。激しい富栄養の状況の下では、アオコが低酸素状態を生み出すことがあり、その結果、湖沼では魚が死に、沿岸地域では酸欠海域が発生する。低酸素は、世界中の湖沼や河川、河口、沿岸地域において大きな影響を与える深刻化している (Diaz *et al.* 2010; Rabalais *et al.* 2010; Diaz and Rosenberg 2008)。少なくとも169カ所の沿岸地域が、低酸素状態であると考えられており、特に東南アジア、ヨーロッパ、北アメリカ東部の周りの海で酸欠海域が広がっている (図 4.12)。そんな中で、13カ所の沿岸地域だけが、回復していて、そのほとんどが北アメリカとヨーロッパ北部である (Diaz *et al.* 2010; Rabalais *et al.* 2010)。リン負荷は横ばいになると予測されるが、世界の河川の窒素負荷は、南アジアを

Box 4.9 栄養塩汚染と富栄養化

目標

淡水汚染と海洋汚染の削減と制御。

指標

海洋：海岸の酸欠海域の発症率；有害アオコの発生頻度と程度
淡水：世界の川への窒素とリンの流出

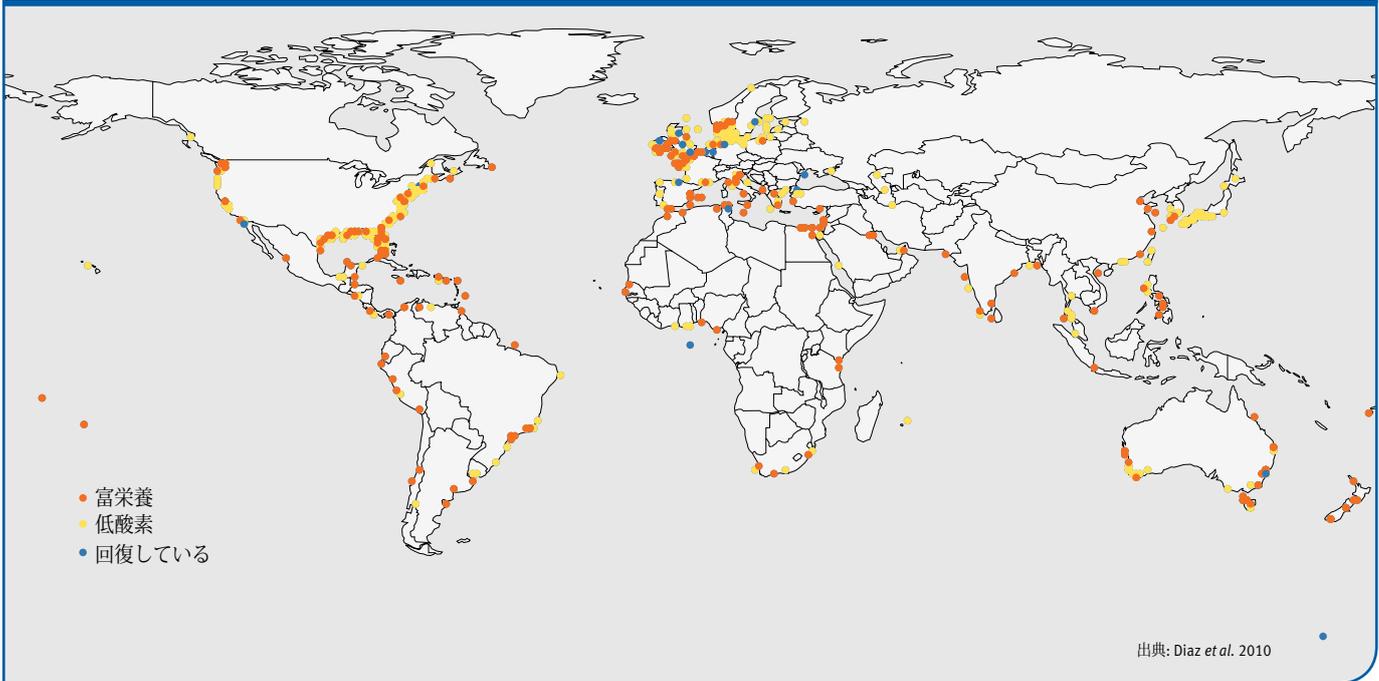
世界の傾向

ほんの少しの進展あるいは悪化

最も懸念される地域

東南アジア、ヨーロッパ、北アメリカ東部

図 4.12 世界の沿岸の低酸素地域と富栄養地域、2010年



中心に、2030年までにさらに5%増加するだろう(Seitzinger *et al.* 2010)。

また栄養塩は、淡水地域と沿岸地域において有害なアオコを引き起こし、そのいくつかは藻類毒素を放ち、人の健康(WHO 2003a)や、水生生物や、家畜に直接影響を及ぼすことがある。富栄養の水域で発見された有害な藻類毒素である、まひ性貝中毒の公表発生数は、1970年の20回未満から、2009年には100回以上にまで増加した(Anderson *et al.* 2010)。

海ゴミ

ごみは、固形廃棄物処理が不十分であることや、プラスチックの使用増加のために、世界中の海洋で発見される(UNEP 2009)。ごみは、野生生物、漁場、船に損害を与え、沿岸地域を汚染し、安全と人の健康に対してリスクを生じさせる。漂流・漂着ごみは、海岸の砂浜、大西洋や太平洋の海底(Galgani *et al.* 2000)、そして大きな海洋の渦の中に蓄積される(Law *et al.* 2010; Martinez *et al.* 2009)。

2005年から2007年に調査された12の海のうち、南東太平洋、北太平洋、東アジア海、広域カリブ海の海岸は、最も多くの海ゴミを含んでおり(UNEP 2009)、カスピ海、地中海、紅海は最も少なかった。バルト海(HELCOM 2009)、北東大西洋(OSPAR 2009)、米国海岸線(Sheavly 2007)、北大西洋亜熱帯環流に関する地域研究では、1986年から2008年の間のごみの量について、統計的に著しい変化は見られなかった。しかし、中部大西洋からのデータでは、1997年から2007年の間に、陸上からのものと、発生源全般からの海ゴミに増加が見られた(Ribic *et al.* 2010)。

難分解性の有毒化学物質

毒性汚染物質には、カドミウムや鉛や水銀といった微量金属、ジクロロジフェニルトリクロロエタン(DDT)やクロルデコンのような農薬とそれらの副産物、工業用化学物質、ならびに燃焼副産物などがある。それらは、まだ多くの場所で使用されており、底質汚染として長く留まり、水システムに蓄積され続けるため、水域の90%で発見されるまでになっている。汚染物質で最も懸念されるのは、難分解性で、有毒で、生物濃縮性が

Box 4.10 海ゴミ

目標

海洋汚染を削減すること。

指標

海岸線のごみのレベル；
海底と海洋渦巻きの中のごみのレベル。

世界の傾向

少しの進展か、もしくは全く進展がない。

最も脆弱なコミュニティ

海岸沿いに住んでいる人々

最も懸念される地域

不明

Box 4.11 有毒化学物質

目標

海洋汚染と淡水汚染を削減すること。

指標

補食性の魚類中の有機塩素化合物の濃度；北極大気中の残留性有機汚染物質の濃度。

世界の傾向

ある程度の進展。

最も脆弱なコミュニティ

海岸沿いに住む人々；食料を魚に依存する人々。

最も懸念される地域

極地域

あるものである（第6章）。生物は、水、底質、食料から汚染物質を集積して、周辺環境中よりもはるかに高いレベルの汚染物質を、細胞組織に蓄える傾向がある。脂肪組織中のポリ塩化ビフェニル(PCB)あるいはDDT濃縮物のような有機塩素化合物は、長期間留まって、食物連鎖による生物濃縮を受け、頂点の捕食者において最も高濃度になる。

北極圏に蓄積する傾向がある(Hung *et al.* 2010)、多くの残留性有機汚染物質(POP)の濃度が、1990年代の初め以降、北極圏の大気サンプルで減少し続けている（第2章）。また、太平洋西部の12種の深海魚類の細胞組織中の、少なくとも3つの有機塩素系化学物質の濃度（図4.13）(Oshihoi *et al.*

2009)、ならびにサンフランシスコ湾の少なくとも4種の魚類の中のPCB濃度(Davis *et al.* 2003)が、1990年代中頃以降、下がり続けている（第6章）。

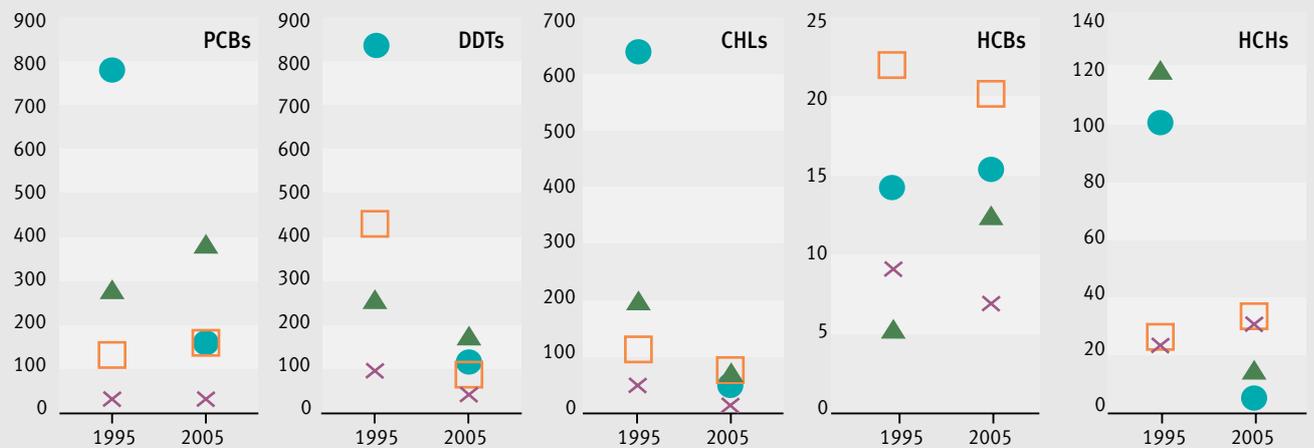
新たに出現している水質懸念

従来の毒性汚染物質は多くの工業地域で減少しているが、追加の汚染物質が新しい懸念を引き起こしている。例えば、一種のPOPであるポリ臭化ジフェニルエーテル(PBDEs)のような防燃剤の使用が、ヨーロッパや北アメリカや日本において、過去30年にわたって指数関数的に増加した(Schwarzenbach *et al.* 2010)。また、使用後に、ほとんどの下水設備で取り除かれることなく環境に入り込む、薬剤やパーソナルケア製品に対する懸念が増大している。薬剤や内分泌腺かく乱化合物は、非常に低濃度であっても、生物学的作用を引き起こす可能性が明らかになっているが、水生生物や人間にとっての長期的な危険性については、ほとんど分かっていない(Schwarzenbach *et al.* 2010)。

ナノ粒子とマイクロプラスチックは、水に対する比較的新しい汚染物質（第6章）である。1~100ナノメートルの粒子（1ナノメートルは1メートルの10億分の1）が、現代の生活の中で次々に使用されるようになってきている。ナノエコトキシコロジーという新しい学問領域によって、水界生態系に及ぼすそれらの環境動態と潜在的影響が調べられている(Hasselov *et al.* 2008; Navarro *et al.* 2008)。マイクロプラスチックは、プラスチック製品の劣化から生じるもので、水生生物に蓄積する添加物を含んでいる可能性があり(GESAMP 2010; Ryan *et al.* 2009)、特に海洋システムの中では、それらの濃度が、世界のプラスチック消費の増加につれて高まると予想されている。現

図 4.13 特定の深海魚類での有機塩素汚染の傾向、1995年~2005年

ナノグラム、脂質重量1グラム当たり



PCBs = ポリ塩化ビフェニル

DDTs = ジクロロジフェニルトリクロロエタン

CHLs = クロルデン化合物

HCBs = ヘキサクロロベンゼン

HCHs = ヘキサクロロシクロヘキサン

注釈：サンプルは日本の沖合の太平洋西部から集められた。

出典：Oshihoi *et al.* 2009

Box 4.12 バラスト水と侵入生物種

生物学的汚染の一つの形態である侵入生物種は、水界生態系に対して大きな脅威を生み出し、甚大な環境被害と経済的被害を引き起こす場合がある。バラスト水は、世界中に種を送り届ける運び屋である。2004年のバラスト水条約は、持ち込みを減らすために一般的に行われる外洋でのバラスト交換と共に、管理計画の実施を要求した。多くの航路でこれを実施することは難しいので、デンマークとオーストラリアなどのいくつかの国々では、寄生微生物を殺すバラスト水処理を課す規制を設けた。

在ほとんど知られていないタイプの新たな汚染物質が、まがいがいなく継続して特定されていくだろう。新しくはないが、2011年の津波が日本の原子力発電所に損害を与えた後の水質汚染によって例証されるように、産業、医学、軍事、そして事故による放射性物質の放出が、再認識された懸念材料である。また侵襲性の外来種も、多くの沿岸地域における問題となっている（Box 4.12：第5章）。

分野横断的な問題 水の安全保障と人の健康

既に述べたように、水の地域間格差は、絶対的な利用可能水

Box 4.13 水の安全保障

目標

持続可能な適切な淡水の供給を確保すること。

指標

人の水安全保障上の脅威。

世界の傾向

悪化している。

最も脆弱なコミュニティ

水需要が増加している開発途上国。

最も懸念される地域

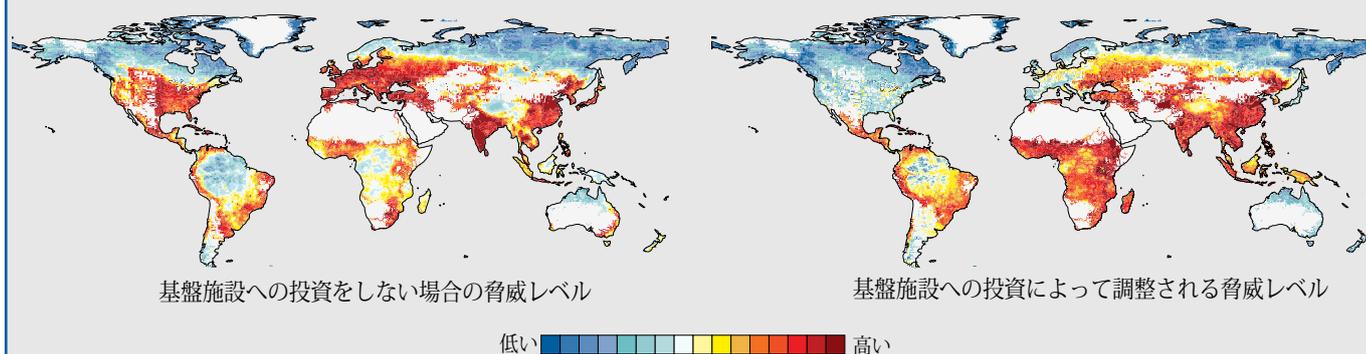
アフリカ、西アジア、アジア太平洋地域、中南米、カリブ諸国。

量と、基盤施設が不十分であることによってその利用可能水量が受ける制限の両方に関係している。これらはいずれも、人と環境が利用する水の範囲に影響を及ぼすことから、いずれも水質汚染に関わると共に、水の安全保障にも関わる。改善されているにもかかわらず、依然として適切な質と量の飲料水を利用できないでいることは、世界的な最大の人の健康問題の一つである。しかし、十分な水を供給できないのは、本質的には地域的な現象であって、流域レベルでの水不足、地域の水質、基盤施設とガバナンスの不適切さ、文化的視点や不公正な水価格によって、引き起こされている。



水の供給についてのミレニアム開発目標ターゲット（半減）は2011年に満たされたが、2015年に6億人以上が安全な水の供給を受けられないだろう。 © Kibae Park/UN Photo

図 4.14 基盤施設への投資をした場合と、しない場合の水安全保障への脅威、2000年



出典: Vorosmarty et al. 2010

水の安全保障

1992年のリオ地球サミット以降、水の安全保障の定義がいくつか提案されたが、いずれも誰もが受け入れるものとはなっていない(Oswald Spring and Brauch 2009)。定義が様々であれば、異なる基準による多くの指標をもたらすことになり、傾向データを導き出すことが困難になる。ハーグ閣僚宣言は、水の安全保障を、広く定義していて、水に関連するリスクと災害から脆弱なコミュニティを保護すると共に「健全で生産的な生活を送るための負担可能なコストで安全かつ十分な水」をすべての人が利用できるようにすることを目的として、淡水生態系と海洋生態系の保護と改善、持続可能な発展、政情の安定を含むと定義している (World Water Council 2000)。

世界人口の約 80%が、水の安全保障上の脅威の高い区域に住んでおり、それは 34 億人が関わる最も深刻な事態で、そのほとんどすべてが開発途上国である。ここでの水の安全保障上の脅威とは、23 の駆動要因が水資源に及ぼす影響の累積効果であり、流域の改変、汚染、水資源開発、生物要因に分類される(Vorosmarty et al. 2010)。今後数十年のうちに、より多くの人々が、気候変動で変化する降水パターンに加え、水需要の増大(第 1 章)による深刻な水ストレスを経験するだろう。

図 4.14 は、人類の水安全保障に対する世界的な脅威を明らかにしたもので、これまでと現行の基盤施設への投資による効果を加えた場合の脅威と、投資をしない場合の脅威を比較している。この図は、工業先進国においては、基盤施設により多く投資することで、水資源に対する様々な脅威が克服され、人類の水安全保障が強化される可能性を示す一方で(Vorosmarty et al. 2010)、開発途上国においては、投資が少ないと、水の安全保障は貧弱なままであることを示している。投資は、十分な制度面での能力開発と一体で為されなければならないし、また多くの場合、基盤施設の開発は、水生の生物多様性や環境の質を犠牲にして行われるので、投資による環境リスクが考慮され、適度に緩和されることが不可欠である。

Box 4.14 改善された水へのアクセス

目標

改善された飲料水の供給を公平に利用できるようにすること。

指標

改善された飲料水を持たない人口の割合；農村と都市の公平性。

世界の傾向

改善された水の供給にかなりの進展；農村と都市の公平性にまずまずの進展。

最も脆弱なコミュニティ

開発途上国と農村地域における貧困層。

最も懸念される大陸域

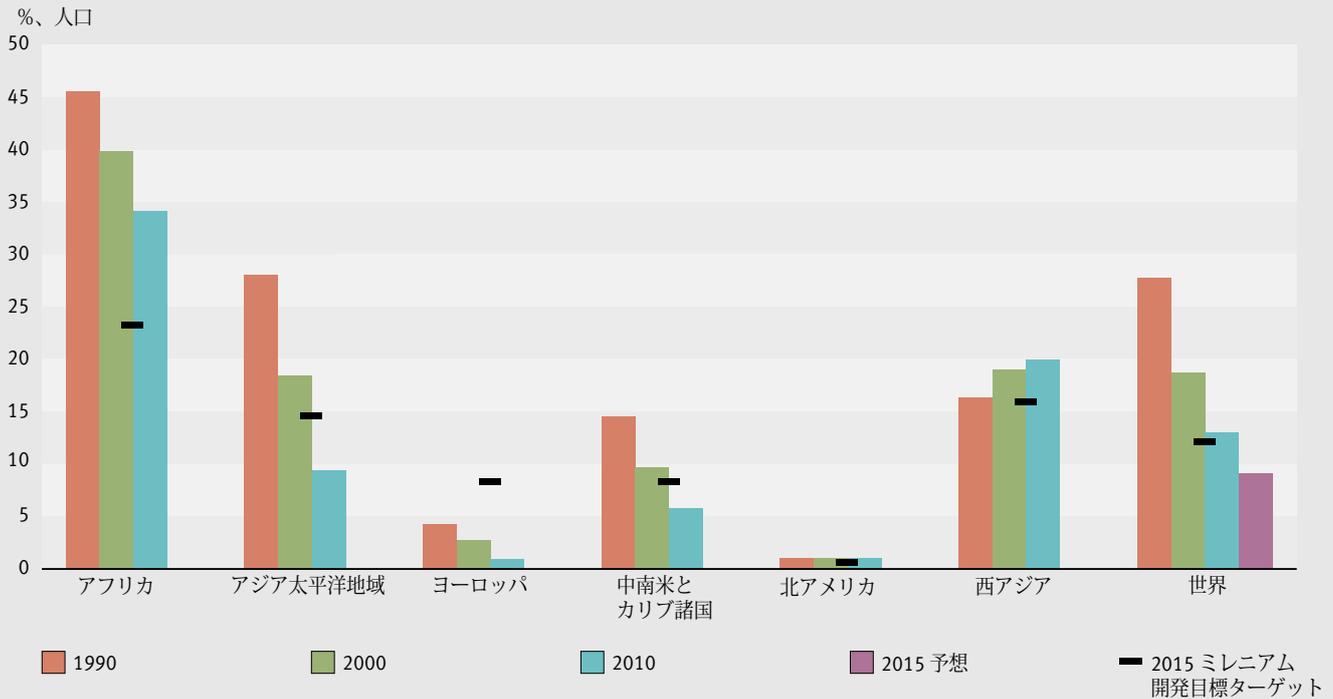
南太平洋のサブ大陸域；アフリカのほとんど、特にインド洋西部のサブ大陸域

改善された飲料水の公平な利用

水の安全保障が世界の多くの地域で、ますます問題となっているが、改善された飲料水の利用には、1990 年以降、大幅な進展があった。しかし、アフリカのほとんどや、その他の開発途上国の農村区域など、いくつかの地域では、まだ改善された飲料水を利用できていない(UNDESA 2010)。国連総会は、2010 年 7 月に上水と下水設備を利用することは人の権利であると宣言したが、その権利は、まだ多くの国々で認識されておらず、また適用されていない。

最近のデータによれば、ミレニアム開発目標の飲料水ターゲットが 2010 年に達成された(図 4.15)。しかし、この改善には見過ごせない不公平がある。2010 年に、都市部で、改善された飲料水を利用できない人々は 4% だけになったが、農村区

図 4.15 改善された飲料水を利用できない人々の数、1990～2015年



注釈：WHO/ユニセフによって定義されるように、改善された飲料水源とは、その構造によって、あるいは積極的な手だてによって、外部の汚染、とりわけ糞便から保護されている水源である。

出典：WHO 2012

域では居住者の 19%が利用できていない。ミレニアム開発目標 7c の達成に向けた進展は、劣悪な水質や水不足を克服するための技術や基盤施設の使用が増大したことによるものである (WHO 2012)。

水に関連する疾病

世界保健機構(WHO)によって定義されている水に関連する疾病には、飲料水中の微生物と化学物質によって引き起こされる次のようなものがある。その媒介生物が水中でその生涯の一

Box 4.15 水に関連する疾病

目標

水に関連する人の健康被害を削減する。

指標

水に関連する疾病による死を障害調整生命年 (DALY) に換算した値；公表されたコレラ患者数。

世界の傾向

ある程度の進展。

最も脆弱なコミュニティ

開発途上国や農村地域の貧困層；自然災害を被ったコミュニティ。

最も懸念される地域

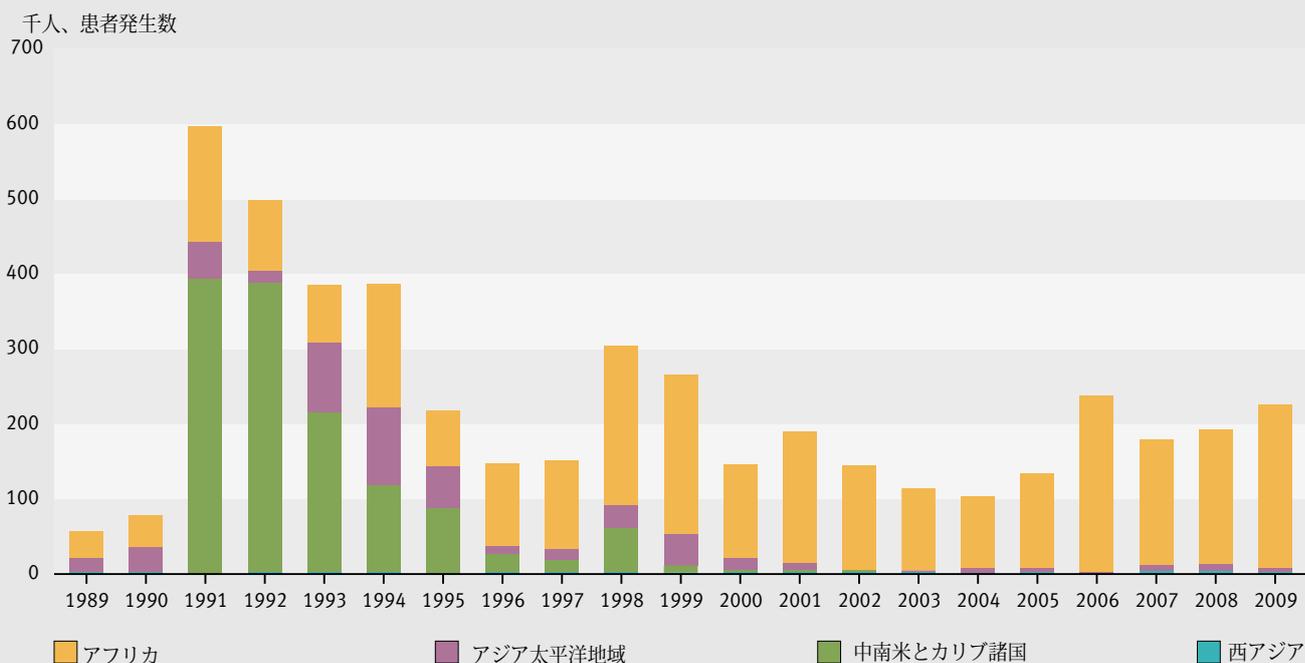
アフリカ



蚊によって伝播される疾病であるデング熱とマラリアは、蚊の発生する滞留水がある場所では、非常に問題になる。

© Salem Alkait/iStock

図 4.16 地域別のコレラ患者発生数、1989～2009年



注釈：多くが報告されずに終わるので、報告された患者数は合計数を過小評価したものである。

出典：WHO 2010

Box 4.16 アフリカの子供たちの下痢

世界の病院ベッドの半分は、いつでも、水に関連する疾病に苦しむ人々で満たされている(UNDP 2006)。下痢の疾病は、世界の疾病負荷の4%以上になり、下痢の90%は、環境汚染と、安全な飲料水や下水設備を利用できないことに関係している(Pruss-Ustun et al. 2008)。2008年に亡くなった5歳未満の子供は130万人であるが、その70%をアフリカが占めており、下痢関連の幼年期の死亡負荷はアフリカが最も高い。また、予想に違わず、基本的な下水設備を最も利用できていないのも、サハラ以南のアフリカで、3億3000万人が適切な下水設備を使用していない(WHO 2011a)。

部を過ごす住血吸虫症のような疾病、水に関連する媒介生物を持つマラリアのような疾病、その他、ある微生物を含むエアロゾルによって運ばれるレジオネラ症のような疾病である。

そのような疾病は、特にアフリカにおいて公衆衛生上の重大な懸念事項である。世界で、不適切な下水設備と水の供給のために発生する下痢は、2004年の世界の疾病負荷のうち、2番目に大きなものであった。それを健康障害、身体障害、または若死によって失われた年数である障害調整生命年(DALY)で

表すと7000万DALY以上になる(Box 4.15) (Prüss-Ustün et al. 2008)。世界の保健統計によれば、アフリカと南アジアには、水を媒介とする病気によって最も深刻な影響を受ける区域があることが示されている(WHO 2004)。

WHOは、25の様々な水に関連する疾病の発症を減らすことに力を入れている(WHO 2011a)。回旋系状虫症、マラリア、住血吸虫症、コレラの発症を減らすことには、いくつかの顕著な成功例がみられる。しかし、世界で報告されたコレラ発症率(水に関連する疾病の傾向を完全に明らかにしたデータが無い場合、その代用としてコレラ発症率を用いる)は、主としてアフリカで近年増加している(図4.16)。2009年には、全大陸の45か国で22万1,226人のコレラ発症数が報じられた(図4.16)。2010年のハイチでの地震のあと、コレラが流行したことで、さらに証拠づけられるように、水に関連する疾病は、適切な飲料水と下水設備を利用できない開発途上国では、長らく公衆衛生上の問題である(Walton and Ivers 2011)。

水とエネルギーと気候の連立問題

水、エネルギー、経済発展、気候変動は、相互に関係する課題である。人口の増加と、経済発展に伴う一人当たりの消費増大が、エネルギー需要を駆動する。それと同時に、化石燃料エネルギーの使用が、気候変動をもたらす温室効果ガスの排出を生み出し、それが異常気象、氷冠の損失、水不足、海面上昇など、水に影響を及ぼす。それに対して今後は、気候変動への対応が水環境に影響を及ぼす。ある種の太陽エネルギー開発は、

表 4.2 主要な水文に関わる変数への、観測された気候変動による影響とその将来予測

主要な変数	観測された傾向	21世紀の予測
降水	傾向は不明瞭である；北緯30度から85度までの陸地に降る降水量は増加し；南緯10度から北緯30度までは顕著に減少している。	地域スケールで変化は異なるが、全体の降水量は、増加（温度上昇1℃当たり1～3%）すると予測される。
降水強度	激しい豪雨による降水量の極端な増加；地球的規模での豪雨の激化。	温度上昇1℃当たり、豪雨がおおよそ7%増加すると予測される。
干ばつ	いくつかの地域は湿潤になったり、干ばつ強度が下がったけれども、パーマー干ばつ深刻度指数（PDSI）によって計測された干ばつは、20世紀において増加した。	干ばつ強度は、いくつかの地域と季節に増加するだろう。パターンは複雑で予想するのが難しい。
熱帯低気圧	気候変動に関係して検知される変化は、いずれも不確実性の度合いが高い。	熱帯低気圧の平均最大風速は増加し、発生頻度は減少しそうである。頻度と進路の変化は不確かである。
氷河と積雪	すべての大陸域においてではないが、氷河の塊に減少が見られ、北半球の大陸域において積雪が減少している。氷河と融雪からのピーク流出がより早くなっている。	氷河の塊と積雪が減少し続けている。
海面水	海面は20世紀にわたって約0.2メートル上昇した；これが長期的な海面上昇の加速度であるかどうかは明らかではないが、一世紀当たり0.3メートルに相当する上昇が1990年代の初め以降、記録され続けている。	範囲の上限はもっと高くなる可能性があるが、海面は2100年までに0.2～0.6メートル上昇すると予測されている。
海洋の酸性化	海洋表面の平均pHは8.2から8.1まで減少した。	pHは、現在の傾向が持続する場合、2100年までに7.7または7.8まで減少すると予測される。
海面水温	1980年以降、0.5℃上昇した。	継続的に上昇する。

出典: IPCC 2011; Feely *et al.* 2009; World Bank 2009; IPCC 2007c

乾燥地域でよくあることだが、かなりの量の水を消費する。また水不足が増大すると、いくつかの地域は、大きなエネルギー投入が必要な海水の脱塩に依存することになる (World Bank 2009)。さらに、干ばつは水力による発電量を減少させる方向に働く (Box 4.21)。

2030年までに必要とされる追加の水基盤設備に要する費用は年間90～110億USドルで、そのうちの85%は開発途上国に要する費用であると見積もられている (UNFCCC 2007)。洪水のリスク管理と水質保全に関連しては、さらに追加費用がか

気候変動の水循環と海洋温暖化への影響

水の循環は、海洋や、大気や、地表と地下を巡る水の連続的な移動を指す。気候変動が次のような変化となって現れ、地球規模と大陸域の水の循環を変えつつあることは明らかである (Bates *et al.* 2008; IPCC 2007a; Kundzewicz *et al.* 2007)。それは、降水パターンの変化、異常気象とその結果生じる自然災害の強度の増大、河川の流出量の変化をもたらす氷河の後退、半乾燥地帯での干ばつの激化などである (表 4.2) (IPCC 2007b)。

気候変動が特定の水系に及ぼす影響を予測するには、相当の不確定要素があるけれども、気候変動は水管理に対して深刻な影響を及ぼすポテンシャルを持っている (Bates *et al.* 2008)。それでも、少なくとも次の20～30年の間は、都市化、産業化、水資源開発といった、その他の人類の活動によってもたらされる水循環への世界的影響が、気候変動による影響を上回るだろう (Gordon *et al.* 2005)。気候変動による影響に対処することになる場合、すべての国々に十分な量の水を提供するために、

Box 4.17 人の安全保障への気候変動の影響

目標

水環境への気候変動の悪影響を緩和し適応すること。

指標

極端な降水量；氷河の後退；干ばつの強度；気候変動に適応するために水部門に要した費用。

世界の傾向

適応策と緩和策に対するある程度の進展。
資金調達および実施についてはほとんど進展がない。

最も脆弱なコミュニティ

天水農業や氷河の融解水に依存している人々。
長期にわたって再生不能な地下水に依存している人々。

最も懸念される地域

乾燥地帯、熱帯地方、サイクロンやハリケーンに見舞われる沿岸地域。

かる(Parry *et al.* 2009)。緩和策と適応策の必要性についての認識が高まった兆候が見られ、2006～2008年の間に世界銀行によって資金提供された191の水道事業のうちの35%は、気候変動の影響に対する緩和策と適応策を具体化したものである(World Bank 2009)。しかし同時に、洪水や他の極端現象に対する防御を高めようとする地方や地域が行う取り組みは、水界生態系にとっては深刻なマイナスの影響を及ぼすだろう。

海洋に対して気候変動が最も直接的に及ぼす影響は、海水面温度(SST)の上昇で、1980年代以降、世界で0.5℃上昇しており、21世紀にわたって増加し続けると予想されている(IPCC 2007a)。世界の降水量は、多くの熱帯地域と温帯地域で予想される極端な降水事象のために(IPCC 2011; Gorman and Schneider 2009)、地表の1℃の温度上昇につき1～3%の割合で増加すると予想されている(Wentz *et al.* 2007)。

氷床の融解と海面上昇

海面上昇は、海洋の熱膨張によって、ならびに氷河と氷床が融けることによって引き起こされる(IPCC 2007a)。世界の平均海面水位は、3000年間ほとんどほぼ一定であったが、20世紀の間におよそ170mm上昇し(IPCC 2007b)、2100年までに少なくともさらに400mm(+/-200mm)上昇すると予測されている(IPCC 2007a)。1993年から2008年までの測定によると、海水面はすでに、以前の数十年間より2倍速く上昇しており(Cazenave and Llovel 2010)、気候モデルによって予想された上昇を超えていることが示されている。

こうした海面上昇の推定に関しては、かなりの幅があるが(Levitus *et al.* 2009; Ishii and Kimoto 2009)、1960年以降に観測された海面上昇の25～50%は、熱膨張に起因している

Box 4.19 海洋の酸性化

目標

海洋生態系とそれらのサービスを保護し回復させること。

指標

海洋のpH。

世界の傾向

悪化。

最も脆弱なコミュニティ

サンゴ礁生態系やその他の石灰質を一次生産する生物に頼っている熱帯漁場に依存するコミュニティ。

最も懸念される地域

熱帯の海洋。

(Cazenave and Llovel 2010; Antonov *et al.* 2005; Willis *et al.* 2004)。この幅の幾分かは、過去50年にわたって海面上昇を30～55mm減少させたと推定されている窪地に流れ込んだ水に起因しているかもしれない(Chao *et al.* 2008)。小さな氷河と氷冠が、20世紀を通して非常に多量に損失しており(Dyurgerov and Meier 2005)、陸上の水の源が融けて作られる淡水流出は今後増加するだろう。しかし、過去20年にわたって損失が加速しつつあるグリーンランドと南極の氷床の融解が、海面上昇の最も大きな原因であり、現在の傾向が続けば、21世紀においても海面上昇の主要な原因となり続けるだろう(Rignot *et al.* 2011; Rignot 2008)。

多くの国々では、沿岸地帯に人口と社会基盤が高度に集中しているため(McGranahan *et al.* 2007)、海面上昇とそれによる海岸沿いや低地の地域社会で起こる冠水に対して脆弱である(第7章)。開発途上国、とりわけ小島嶼開発途上国(SIDS)や三角州地帯が、特に脆弱であるが(IPCC 2007c)、それらの多くは、上昇する海水面に適應するための能力、また関連する損失から回復するための能力に限界を抱えている。沿岸地帯が適應するために要する費用は、海面上昇の大きさに左右されるが、2040年代までに年間260億～890億USドルと見積もられている(World Bank 2010)。

海洋の酸性化

海洋は、毎年、人為起源の二酸化炭素(CO₂)のかなりの部分を吸収しているが、二酸化炭素は水と反応して炭酸を形成するために海洋をより酸性にする。地域によって差はあるが(図4.17; 第2章)、海洋表面の平均pHは、産業革命前の平均値であった約8.2から、現在8.1まで既に減少しており、フィーリーらは(Feely *et al.* 2009)、2100年までに平均で約7.8まで減少すると予想する。海洋の酸性化は惑星限界に達しつつある可能性がある(Rockstrom *et al.* 2009)。

Box 4.18 海面上昇

目標

気候変動による水環境への悪影響を緩和させ適應すること。

指標

海面上昇; 海面上昇に適應するための費用。

世界の傾向

進展はほとんど無い。

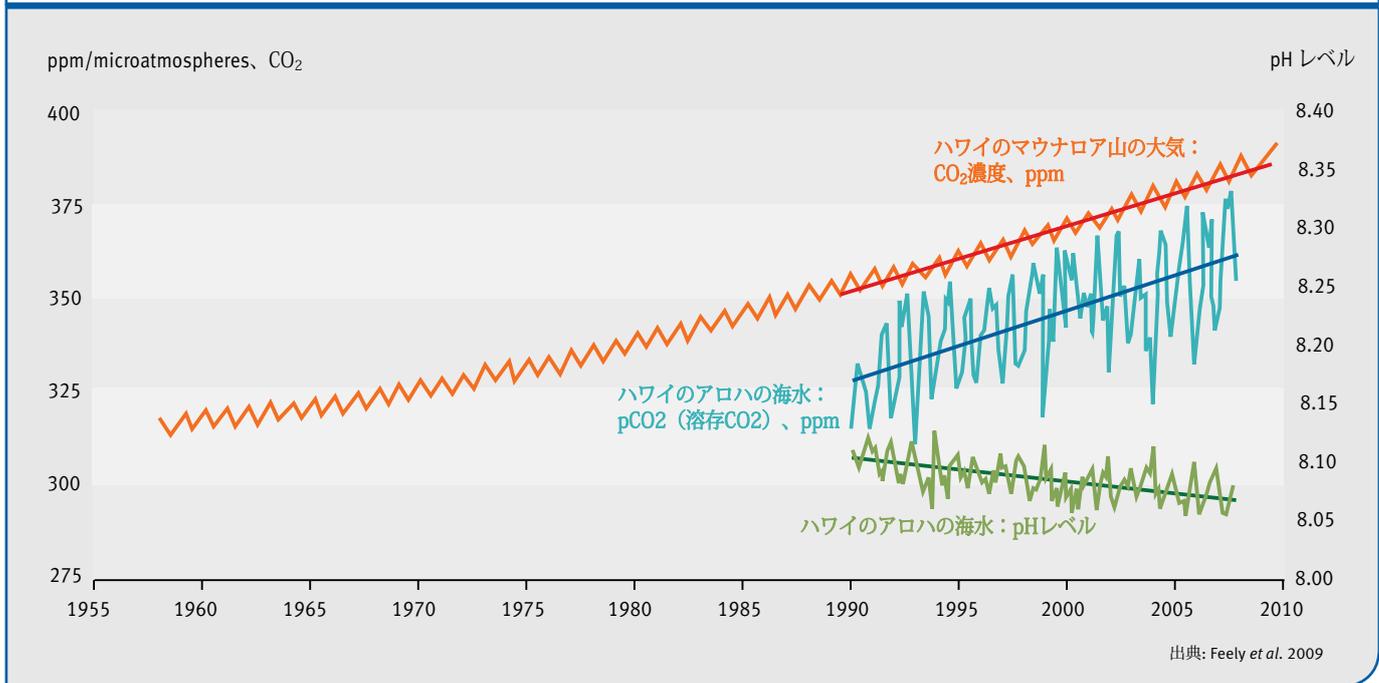
最も脆弱なコミュニティ

沿岸地域、島のコミュニティ、人口が密集している三角州。

最も懸念される地域

沿岸地域(三角州やアフリカの海岸)、小島嶼開発途上国、北極圏、南極大陸、高山地方

図 4.17 北太平洋におけるCO₂濃度と海洋の酸性化、1960~2010年



海洋酸性度の増加は、炭酸塩から成る殻や骨格を備えた海生動物、石灰藻、ならびにその他の生物に影響を与える(Langdon and Atkinson 2005)。影響を受ける生物には、人間の食料資源として重要なカニや軟体動物など、海洋食物網にとって決定的に重要な動物だけでなく、造礁サンゴも含まれる。水温の上

昇と相まって、海洋の酸性化は、世界中のサンゴ礁生態系を破壊するサンゴ白化現象の主な原因であると考えられている(Hoegh-Guldberg *et al.* 2007)。いくつかの研究では、2050年までに熱帯サンゴ礁が急速に縮小すると予測されている(第5章)(Logan 2010)。サンゴ礁は、いくつかの商業的に重要な魚種にとって、産卵から稚魚生育の場など重要な生態系サービスを提供している。このような生態系やサービスの悪化が、ますます明らかになっており、それらの保護を強化するガバナンスが必要となっている。

エネルギー開発による水資源への影響

世界的なデータは不足しているが、米国と欧州連合(EU)において、全取水量のおよそ40%を、エネルギー部門が占めていると考えられる(Glennie *et al.* 2010)。エネルギーのための水需要には、原料の抽出と加工から、水力発電タービンの駆動、原子力発電所を含む火力発電所の冷却までが含まれる。また化石燃料の抽出は、水質に重大な影響を及ぼし得る。

石油やガスの探査や生産は、淡水生態系と海洋生態系の両方に影響を及ぼすことがある。新しく実証された技術によって、シェールガス堆積盆の新しい天然ガス井の拡大が加速している(EIA 2011)。それに関連する水資源への影響が現在調査されている。それらの影響は、爆発の可能性のある濃度のメタンによる帯水層汚染(Osborn *et al.* 2011)、地表水と地下水の汚染、排水を受けて生じる流れ(Johnson *et al.* 2007)、ならびに削井と仕上げに消費される多量の水などである(第7章)。またオイルサンドの開発には、大量の水が必要とされ、激しい水質汚染を生み出す可能性がある(Kelly *et al.* 2010)。



海洋の酸性化は、海洋生物、とりわけ珊瑚と甲殻類を脅かしている。それは、漁業と水産養殖に依存するコミュニティに壊滅的な影響を与える可能性がある。© Extreme-photographer/iStock

Box 4.20 ディープウォーター・ホライズン石油流出

2010年にメキシコ湾に490万バレルの原油が流出したディープウォーター・ホライズン石油流出は、事故による史上最大の海洋での流出だった。経済的損失と生態的損失は、まだ完全には数値化されていないが、海洋生物、野生生物生息地、漁業、観光事業に対して広範囲な被害をもたらした。以前の石油流出のように、流出した石油のほとんどが消散したり蒸発するのではなく、溶けた原油による巨大な水面下のプルーム（煙流）や分厚い層となって2011年の春には海底に残った。タールボールが岸に打ち寄せ続け、沿岸沿いの湿性植物が油まみれになって枯死する状況が続いた。

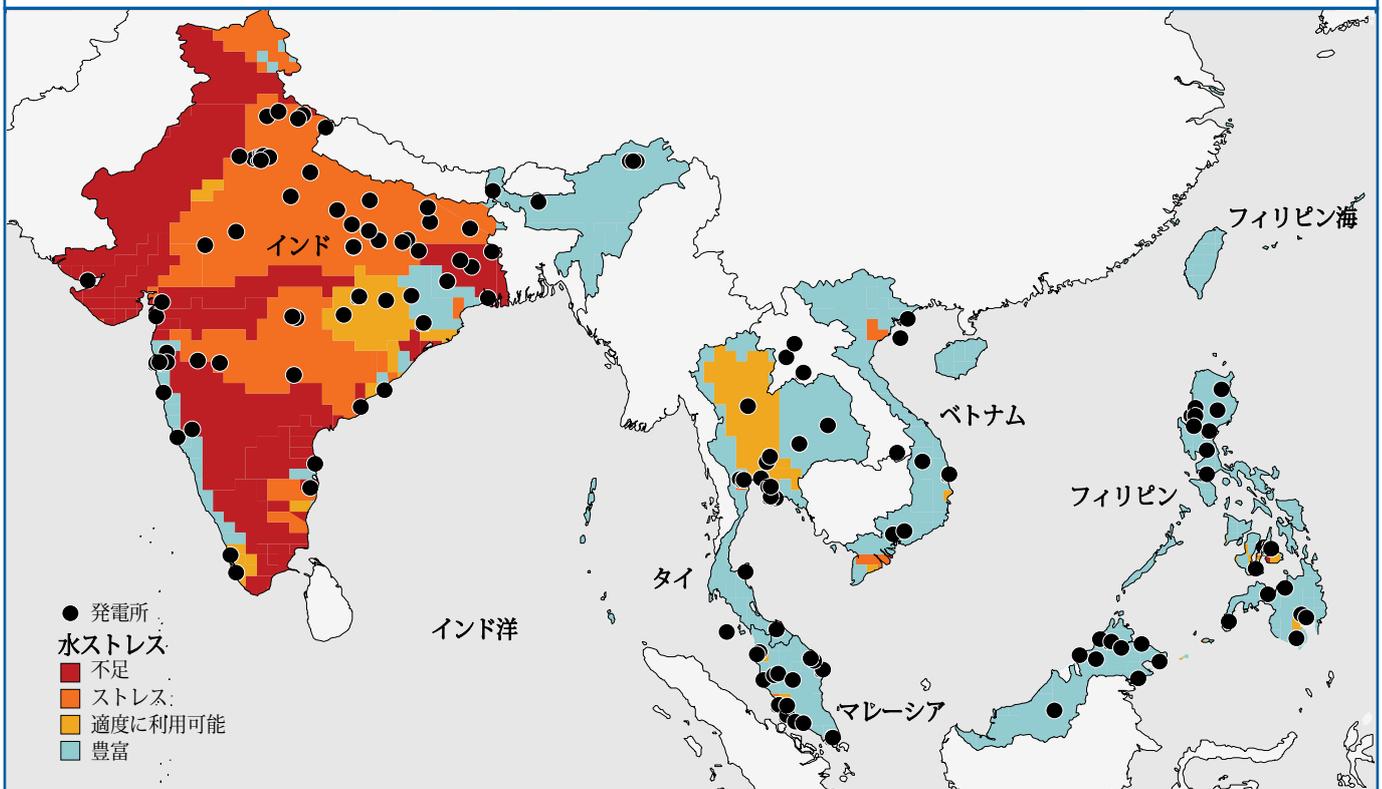
Source: National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling 2011

石油流出は、特に海洋生態系に環境上の脅威をもたらし続けている。石油タンカーからの流出件数は、1970年代と1980年代以降、著しく減少したが(ITOPF 2010)、メキシコ湾で最近、海底石油とガス探査に関連した大きな流出があったことは、海洋生態系にとって進行するリスクを示すものである(Box 4.20)。そんな中、世界の石油やガス需要の増大に伴って、そ

ういった沖合での活動が、海上境界線の問題解消によって促進され、さらに北極氷原が融けて、以前は近づけなかった区域に入れるようになることで、今後20年間で増加すると予想される。北極圏は、世界のおよそ20%の、未発見であるが、技術的に回収可能な石油やガス資源を埋蔵している(Bird *et al.* 2008; AMAP 2007)。しかし、北極圏は、遠隔であること、物理的環境が厳しいこと、多くの海生哺乳動物が集合すること、冷水中での油の分解速度が遅いという理由から、石油流出に対して、他に類を見ないほど脆弱である。

電力生産の中で最も水集約型であるのはバイオマスで、その次が水力で、石油や石炭や原子力発電、ガス発電、太陽熱を集めるいくつかのシステムや地熱発電、太陽光発電、そして風力が続く。正確には、発電のタイプや場所によって、大幅に異なる(Glennie *et al.* 2010)。例えば、太陽熱を集める形式の多くは、太陽エネルギーが高レベルになる乾燥地域において最も有効かもしれないが、それは、時には化石燃料による発電所と同程度に多いかなりの冷却用水を必要とする。水不足が既にエネルギー生産に影響している場合があり、例えば、南アジアと東南アジアの主な電力会社の、既存または計画されている発電設備の半分以上は、水不足か水ストレス区域に設けられている(図4.18)(WRI 2010)

図4.18 南アジアと東南アジアの5か国における火力発電と水力発電の工場立地と、水ストレスのレベル



注釈：水ストレス指標は、利用可能な水量と比べた総取水量の比率で表されるが、予想される人口動態も、降水のタイミングや量といった気候変動も反映しない。

出典：Sauer *et al.* 2010/WRI

Box 4.21 水力発電への干ばつの影響

干ばつは、過去 10 年にわたって東アフリカでの水力発電の出力を著しく減少させ、国家経済に悪影響を与えてきた。例えば、2004 年～2006 年間のビクトリア湖の水位の低下が、ウガンダの水力発電の出力を 50 メガワット減少させ、この期間の経済成長率が 6.2～4.9%まで下がる要因となった(Karakezi et al. 2009)。

また気候変動に対する緩和政策が、電力生産に要する水量に影響を与える場合がある。例えば、石炭火力発電所からの炭素排出を回収して貯蔵することが、水消費量を 45～90%増加させる可能性がある(Glennie *et al.* 2010)。さらに、バイオマス発電や、太陽熱を集めるいくつかのタイプの発電の比率を増やすことは、利用可能水量を著しく減少させる要因となるから、より少ない水で、より効果的な技術を用いて発電するタイプを選定することが必要である(第 12 章)。

水ガバナンス

表 4.1 に整理された水の目標の多くに示されているように、水問題は、水ガバナンスの不適切さによるものと理解できることが多い(RCSE-SU and ILEC 2011; UNESCO 2006)。

適応可能な淡水管理と統合的計画

UNCED のアジェンダ 21 が、「水資源の開発、管理、利用に対する統合的アプローチ」(UNCED 1992)を提唱し、それに続き、次のようないくつかの統合的な管理パラダイムが展開された。それは統合的水資源管理(IWRM)(Global Water Partnership 2000)、統合的湖沼流域管理(International Lake Environment Committee 2006)、統合的沿岸域管理(ICZM)などであり、そのことは、海洋および沿岸の生物多様性に関するジャカルタ・マンデート(CBD 1997)、ならびに生物多様性条約(CBD)のその他成果の中で言及されている。また統合的管理アプローチは、2011 年に日本を襲った壊滅的な地震や津波のような自然災害のマイナス影響に対処する一定の防御を提供するものである。

統合的アプローチの必要性は、ヨハネスブルグ実施計画の第 26 節で正式に取り上げられ、諸政府は 2005 年までに、あらゆるレベルの行動を通じて、統合的水資源管理と水効率化プランを策定すべきであると述べられている(WSSD 2002)。この全体のターゲットは達成されていない。それでも、主として開発途上国が関わった 2003 年と 2005 年、すべての国々が関わった 2008 年と 2012 年の調査データによると、特に先進国において、計画の開発からそれらの実施に至るまで、大幅な前進があったことがうかがわれる(図 4.19)。一方で、開発途上国における進展は減速したように見える(UN-Water 2012)。

幾人かの水の専門家や政策決定者の指摘によると、時として、統合的管理の概念は、実際の実施にあたって十分に明確にされ

Box 4.22 統合的水管理

目標

統合的な管理の戦略とプランを開発し実施すること；陸水生態系とそれらのサービスを保護し回復すること。

指標

統合的水管理プランの開発と実行に向けて為された進展。

世界の傾向

ある地域においてある程度の進展があった；他の地域についてはデータが不十分。

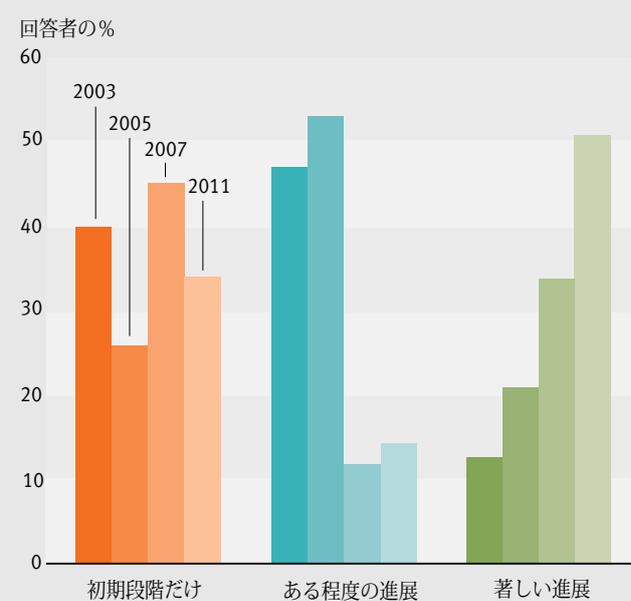
最も脆弱なコミュニティ

幸福な生活を淡水系に直接依存している開発途上国の人々。

最も懸念される地域

開発途上の地域、とりわけ水不足で水質が悪化している地域。

図 4.19 統合的水管理プランの開発と実施における進展



出典: Global Water Partnership 2006; UN-Water 2012



海岸砂丘は海岸線への浪害を和らげて塩水の侵入から土地を保護する。 © Rui Miguel da Costa Neves Saraiva

ておらず(Placht 2007; Watson *et al.* 2007)、制度的、経済的、政治的、資金的な多くの制約があり、軌道に乗るまでに時間がかかる (Brauch *et al.* 2009; Lansky and Uitto 2005)。さらに統合的水管理には、分野横断的な協働が提唱されるが、すべての関連する政府系機関や主要な水の利害関係者たちが、それに同意するとは限らない(Biswas 2004)。また参加型アプローチが必ずしも、ジェンダーの視点での考察を確保するとは限らないので、現行の取組みとして男女平等に向けた制度的・組織的な変更を確実に進めるためにも、また両方の性に影響を及ぼす水問題が、計画の立案、実施、評価の上で確実に不可欠な要素となるようにするためにも、経済発展が男女に及ぼす影響の違いを系統的に評価することが必要である(Bennett *et al.* 2005)。さらに統合的管理は、村から流域、国家、国境を越えた、多くのレベルで適用され得るが、これらのレベルのそれぞれに特有な管理の問題があり、ボトム・アップ方式とトップダウン方式の両方が必要である(Lenton and Muller 2009)。ただし既存の兆候を見ると、統合的な政策は、地方レベルの統合的な管理活動を現場で実施するというよりも、主として国策を改革したり河川流域の組織を設立するといったより高いレベルの活動に集中していることが分かる(Perret *et al.* 2006)。

欧州委員会 (EC) は、2000 年に EU 水枠組み指令の中で統合的水資源管理原則を採用し、2007 年に洪水リスク管理指令を採用した。次に、帯水層の保全については、ヨハネスブルグ実施計画の第 26 節のような目標に事実上含まれてはいるけれども、帯水層の保全を目的として作られた世界的な多国間環境協定は存在しない。しかし、2008 年に設立されたアフリカ地下水委員会など、いくつかの地域の地下水イニシアチブはある(AMCOW 2008)。地下水ガバナンスが貧弱であることが大きな問題であるので、国内法令の中で地下水系を公認することが、地下水ガバナンスの向上に向けた第一歩となり、持続可能な制度や融資の設立につながるだろう。

統合的水管理や国際的な河川流域管理について、その管理を行った地域の経験に関する社会科学文献は増えつつあるが、そのような取り組みの現状や傾向、特にそれらの長期的な便益や影響に関するデータはわずかしかない。研究では、関連する政策の実施にはあまり注目せず、その概念やその適用により多く注目し、進捗指標や、有効性評価のための継続的なモニタリングの枠組みの必要性を強調している(RCSE-SU and ILEC 2011; UN-Water 2012)。ある政策イニシアチブは、とりわけ国際的な河川流域の仕組みを支援し、次のような目的で UNEP によって実施される越境水アセスメント計画(TWAP)を取り入れている。その目的とは、中でも、環境と人の水ストレス、汚染、人口密度、水系の回復力、に関する傾向をモニタリングし評価するための方法論を開発することである。

海洋ガバナンス

海洋システムは、主要な食料の源泉であり、国際的な海運業にとっての輸送手段であり、観光のアトラクションであり、気候変動の調整役でもある。海岸の砂丘や干潟は、潮汐氾濫に対する重要な緩衝装置になっている。多くの国際条約が、海洋環境を保護するために制定され、国際協力の重要性を明らかにしている。ただ、それらの条約が持つ共通の制約は、別の政策を反映することもあり得る各国の立法行為に依存していることである。

国際協定としては、1972 年の「廃棄物その他の物の投棄による海洋汚染の防止に関する条約」(ロンドン条約) および 1973 年の海洋汚染防止条約(マルポール条約)が、海洋汚染に対処している。国連海洋法条約(UNCLOS 1982)は、160 か国によって批准され、1994 年より発効し、海洋とそれらの資源の共用、航法への対処、経済権利、汚染、海洋保護、科学探査に対して、統一したアプローチを示している。海ゴミ増大に関する懸念があるにもかかわらず、それらの条約が、一般的

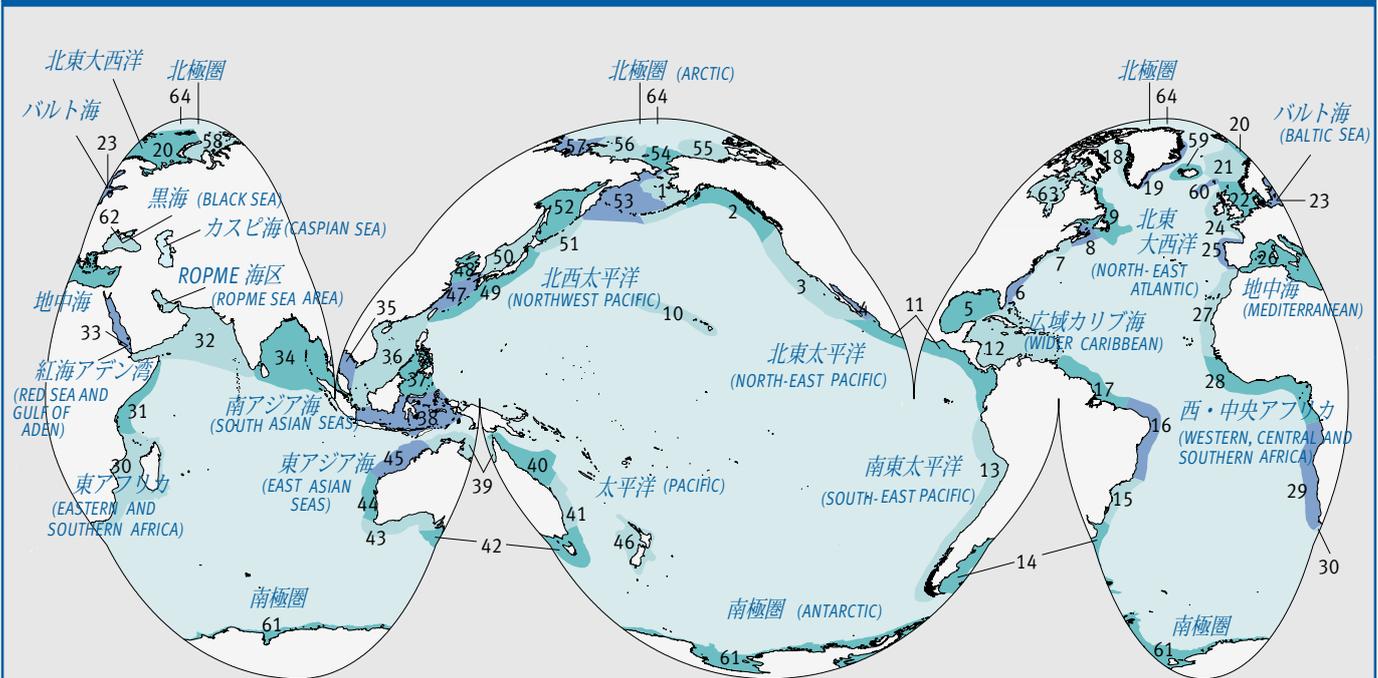
に海洋汚染を抑制し防止するための積極的な枠組みであると見なされている。2004年の「船舶のバラスト水及び沈殿物の規制及び管理のための条約」は、著しい環境被害と経済被害を引き起こす可能性がある国外の侵入生物種の移入に対処するための共同活動を示すものである。

もう一つの注目すべき国際的な取り組みは、「陸上活動からの海洋環境の保護に関する世界行動計画」(GPA)で、1995年に108ヶ国の政府とECによって採択された。法的拘束力はないが、GPAは、陸上活動に由来する海洋の破壊を、防ぎ、抑制し、排除するための持続的な行動に取り組むよう、国と大陸域の当局を奨励するために策定された。多くの国々が、その目標に同意することを表明し、流れ込む淡水による沿岸と沖合

の水の劣化に対処するため、協調的戦略を開発するための手段を提供している。海洋の空間計画については、国土計画や公有地の区域指定に似た、海洋ガバナンスにとって可能性のある新たな領域である。

地域海条約 (UNEP 主導の条約とそうでない独立した条約とがある)、他の行動計画、米国海洋大気庁 (NOAA) によって公表された大規模海洋生態系概念もまた、統合的管理アプローチを示すものである (図 4.20)。しかし、これらの計画の開発や実施は、関与している国々に左右されて異なり、いくつかの計画のガイドラインは参加国に対して拘束力があるが、拘束力がないものもある。

図 4.20 18の地域海と64の大規模海洋生態系の図示、2011年



世界の大規模海洋生態系

- | | | | | |
|---|---------------------------------------|---|---|---------------------------------|
| 1. 東ベーリング海
East Bering Sea | 14. パタゴニア棚
East Bering Sea | 27. カナリア海流
Canary Current | 40. 北東オーストラリア棚
グレートバリアリーフ
Northeast Australian Shelf-
Great Barrier Reef | 52. オホーツク海
Okhotsk Sea |
| 2. アラスカ湾
Gulf of Alaska | 15. 南ブラジル棚
South Brazil Shelf | 28. ギニア海流
Guinea Current | 41. 中東オーストラリア棚
East-Central Australian Shelf | 53. 西ベーリング海
West Bering Sea |
| 3. カリフォルニア海流
California Current | 16. 東ブラジル棚
East Brazil Shelf | 29. ベンゲラ海流
Benguela Current | 42. 南東オーストラリア棚
Southeast Australian Shelf | 54. チュクチ海
Chukchi Sea |
| 4. カリフォルニア湾
Gulf of California | 17. 北ブラジル棚
North Brazil Shelf | 30. アグルハス海流
Agulhas Current | 43. 南西オーストラリア棚
Southwest Australian Shelf | 55. ボーフオート海
Beaufort Sea |
| 5. メキシコ湾
Gulf of Mexico | 18. 西グリーンランド棚
West Greenland Shelf | 31. ソマリ沿岸流
Somali Coastal Current | 44. 中西オーストラリア棚
West-Central Australian Shelf | 56. 東シベリア海
East Siberian Sea |
| 6. 南東米国大陸棚
Southeast US Continental Shelf | 19. 東グリーンランド棚
East Greenland Shelf | 32. アラビア海
Arabian Sea | 45. 北西オーストラリア棚
Northwest Australian Shelf | 57. ラプテフ海
Laptev Sea |
| 7. 北東米国大陸棚
Northeast US Continental Shelf | 20. バレンツ海
Barents Sea | 33. 紅海
Red Sea | 46. ニューゼaland棚
New Zealand Shelf | 58. カラ海
Kara Sea |
| 8. スコティアン棚
Scotian Shelf | 21. ノルウェー棚
Norwegian Shelf | 34. ベンガル湾
Bay of Bengal | 47. 東シナ海
East China Sea | 59. アイスランド棚
Iceland Shelf |
| 9. ニューファンドランドラブラドル棚
Newfoundland-Labrador Shelf | 22. 北海
North Sea | 35. シャム湾
Gulf of Thailand | 48. 東シナ海
East China Sea | 60. フェロー海台
Faroe Plateau |
| 10. インシュラー太平洋ハワイ
Insular Pacific-Hawaiian | 23. バルト海
Baltic Sea | 36. 南シナ海
South China Sea | 49. 黒潮
Kuroshio Current | 61. 南極圏
Antarctic |
| 11. 太平洋中央アメリカ沿岸
Pacific Central-American Coastal | 24. ケルトビスケー棚
Celtic-Biscay Shelf | 37. スールーセレベス海
Sulu-Celebes Sea | 50. 日本海
Sea of Japan | 62. 黒海
Black Sea |
| 12. カリブ海
Caribbean Sea | 25. イベリア沿岸
Iberian Coastal | 38. インドネシア海
Indonesian Sea | 51. 親潮
Oyashio Current | 63. ハドソン湾
Hudson Bay |
| 13. フンボルト海流
Humboldt Current | 26. 地中海
Mediterranean Sea | 39. 北オーストラリア棚
North Australian Shelf | | 64. 北極海
Arctic Ocean |

注釈：ROPMEは、地域海計画のうちの1つで、湾岸海洋環境保護機構 (the Regional Organization for the Protection of the Marine Environment) の略語である。出典：UNEP/DEWA/GRID-Geneva 2011

Box 4.23 競合と紛争

目標

制度上の協調メカニズムを強化すること。

指標

対立的事件と協調的事件の数；
制度と条約の数。

世界の傾向

ある程度の進展。

最も脆弱なコミュニティ

制度的枠組が不十分で国境越えの流域を持つ
コミュニティ。

最も懸念される地域

水ストレスの状態で、かつ急速な開発が為され
ている地域。

国の統治権を超える外洋は、地球表面のほぼ半分を占める。外洋では、漁業、海運業、資源探査などの商業用途に対して、また二酸化炭素深海隔離のような将来性のある海洋工学に対して、急速に進歩する技術でもって新しい広範な大洋フロンティアが拓かれようとしている。外洋生態系と深海生態系は、海山、海溝や峡谷、冷水性サンゴ、熱水噴出口を含み、豊富な生物多様性を示す。そこに生息する、より大きくて、成長が遅く、長命で、種々様々に分布する種は、これらの安定した環境状態に適応しており、とりわけ環境ストレスの影響を受けやすい。しかし、国境を超える領域のガバナンスは、弱くかつ寸断されているので、それらが保全され持続可能に使用されるようにす

る必要があると共に、外洋での人の活動の増大と、国の統治権内に及ぶその影響に対する備えを強化する必要がある。

紛争と協調のもとになる水

共有されている水資源に対する競合は、紛争を引き起こすことがある。特に地方レベルで、水需要が常に切迫していて、競合するすべての水需要に対処するには、水資源がたいてい不足しているといった場合に紛争が起こることがある。国内紛争は、農業、工業、都市といった、地方と都市の部門間、それに漁業、農業、家畜放牧といった、水に依存する生業の部門間で生じる。人口増加、経済発展、気候変動は、水管理の問題を悪化させる可能性がある。さらに、世界人口の約 40% が、越境河川流域に住んでいて、その流域は、地球の陸地表面のほぼ半分を覆い、世界の淡水の流れ(図 4.21)の 60% 以上を供給しているので、これが水管理をさらに困難なものにしている。

また水の供給に関して、故意によるまたは恐れられながら避けられなかった中毒事件が増えている(Pacific Institute 2011; Greenberg 2009)。パシフィック・インスティテュート(Pacific Institute)によって整理管理されている水紛争年表(Water Conflict Chronology List)において、1975~1999年の間に 54 件の水紛争が記録されているのに対して、2000~2010年の間に 69 件が報告された。特定の事件は詳細には記述されていないが、デ・ステファノら(De Stefano *et al.* 2010)は、1948~1999年に報告された 1,831 件の水事件のうち、約 67% が実際には協調的であり、28% のみに対立的であったことを示した。そして 2000~2008年の間に対立的であった事件の割合は 33% で、わずかに増加していた。紛争を生み出す可能性があるのは、一貫して、基盤施設と水量に関する

図 4.21 国際河川流域、2000年

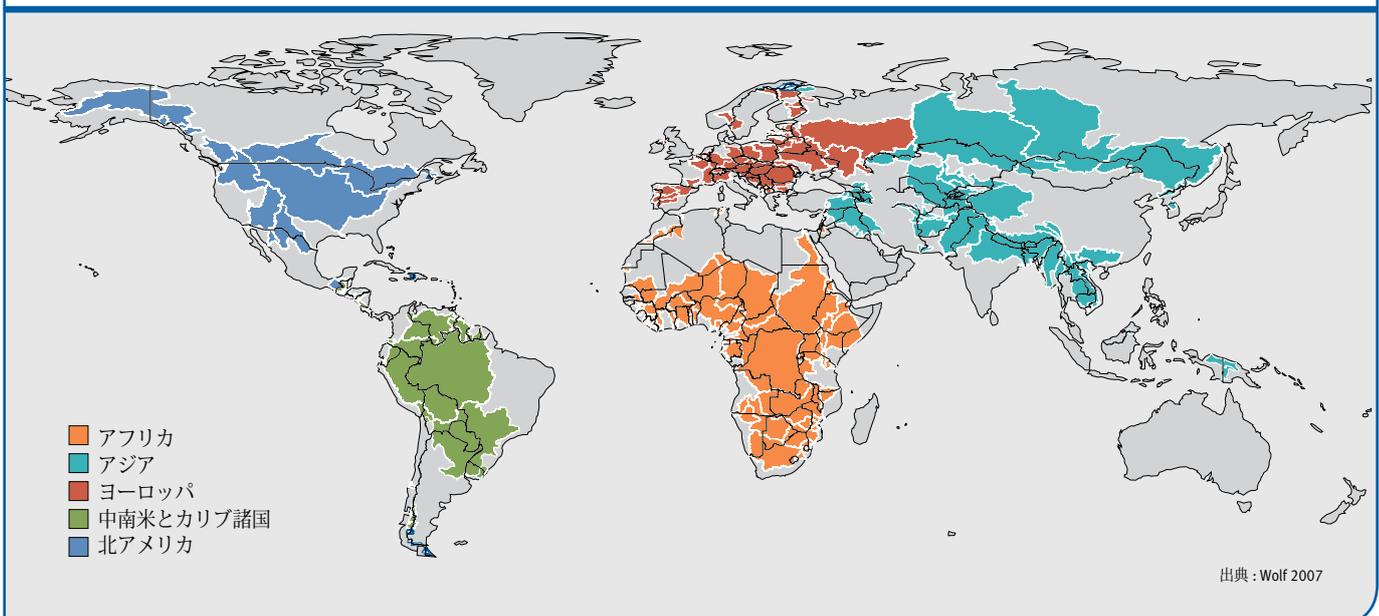
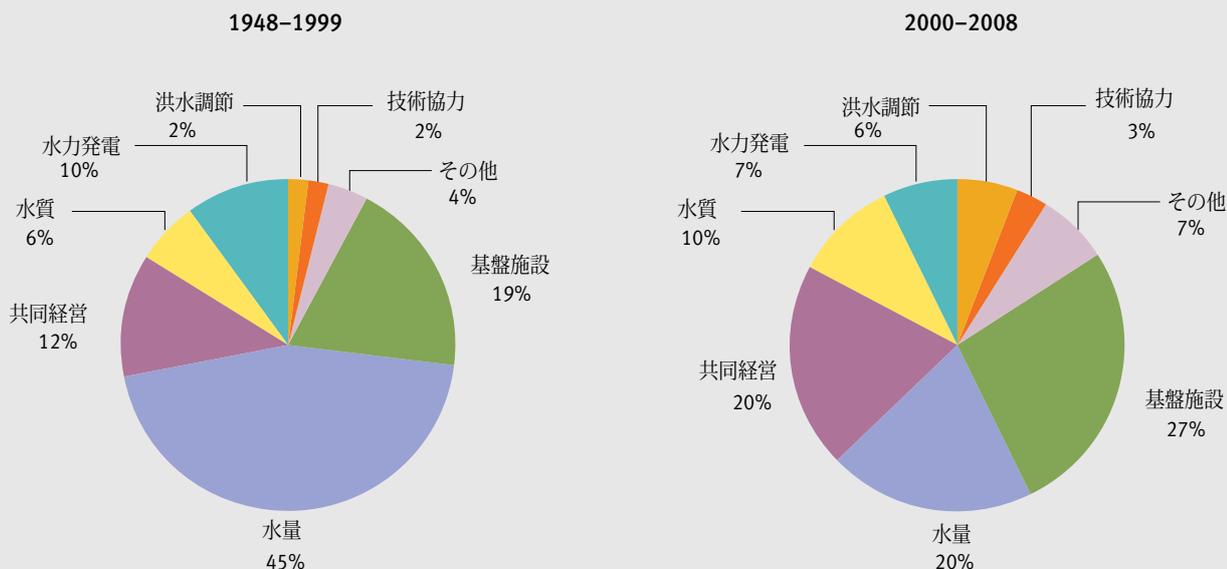


図 4.22 問題のタイプ別で見た淡水の紛争、1948～1999年および2000～2008年



出典: De Stefano *et al.* 2010

問題が主であった (図 4.22)。水紛争は多くの場所で生じており、争議が今後増えるかもしれないが (Kundzewicz and Kowalczak 2009; Greenberg 2009)、現在の兆候に基づけば、とりわけ国際的レベルでは、争いよりも協調に向かう可能性が大きいことが示されている (De Stefano *et al.* 2010)。

263 の国際的な淡水流域のうちの 158 流域については、まだ共同管理の枠組みはできていない。さらに水の制度を持つ 106 流域についても 20%未済しか、有効な多国間協定を持っていない (De Stefano *et al.* 2010)。しかし、越境流域組織を確立できた淡水システムは、一般に、協調関係を向上させることができ、それを示す主な例として、ビクトリア湖流域、ラブラタ川、メコン川、セネガル川などの河川流域がある (第 9 章)。実際に 1948 年以降、約 295 の国際的な水協定が署名されてきた。越境地下水については、国連国際法委員会 (ILC) による越境帯水層に関する法令の成文化が、2008 年の国連総会決議によって採用され大きく前進したが、越境地下水制度はまだわずかしこ存在しない。

越境流域組織は、いわゆる水外交、紛争の管理、争議の解消を促進してきたが (Oswald Spring 2007)、逆の例もある。セネガル河川流域の水不足は協調に向かっていたが、その後のダム建設は激しい争いを引き起こした (Kipping 2009)。さらに、水不足は、人口増加と気候変動が伴うと、気候に起因する淡水資源の劣化、食糧生産の減少、豪雨や洪水災害の増加などの、新たな様々な紛争のたねを引き起こし、それがさらに食糧安全保障を弱体化させる可能性がある (WBGU 2008)。

外洋での乱獲や深海の鉱物探査に関して発生し得る紛争に対しては上記水紛争のような分析は全くなされておらず、「海洋ガバナンス」の節で説明したいくつかの国際協定がある程度それらに対処しているだけである。沿岸区域と海洋資源の利用を持続可能なものにするには、UNEP の 13 の地域海計画や 64 の大規模海洋生態系 (図 4.20) などの例を用いて、地域と世界レベルで、効果的な調整や協調が行われる必要がある。EU 海洋戦略枠組み指令は別の地域制度であるが、バルト海、黒海、地中海、北東大西洋に接する EU 加盟国の統治権の下にあるヨーロッパの海域において適用されている。地域海計画と大規模海洋生態系は、国連海洋法条約 (UNCLOS) と整合するもので、2002 年の持続可能な開発に関する世界首脳会議 (WSSD) のターゲットを基本的に反映しているが、それらの達成状況は不明瞭なままである。

展望と欠落点

淡水問題と海水問題が、依然として世界的に高い優先度を保持する課題であることは、本章の領域をカバーしている条約や行動計画などの多国間協定を見れば明らかである。表 4.3 は、表 4.1 の協定について進展があったかどうかを評価するために、指標を用いて水環境の現状について概観し、またできる範囲でその展望について示している。

1990 年以降、飲料水の供給、人の健康を脅かすいくつかの毒性汚染物質の低減など、人の幸福や経済発展に直接関係する目標の達成に進展が見られた。しかし、開発途上国の農村地域における水に関連する疾病や水の供給について、さらに関心を

注ぐ必要がある。また統合的水資源管理計画と越境水協定が策定されたことで、水ガバナンスの上で進展が見られた。しかし、水界生態系と、生命を支えるそれらの財とサービスの持続可能性を向上させるために、今こそ、これらの計画が実行され、資金が十分に提供され、強化されなければならない。

水の安全保障を向上させること、水資源の公平な利用を確保することは、なお挑戦的な課題である。水質の悪化と乱開発が続く中で、水の供給を持続可能なものにするという要求は、依然として、人類にとって最も重要な資源に関わる要求の一つである。淡水や沿岸部への栄養塩負荷の削減と、国の統治権を超えた領域へのガバナンスについては、ほとんどの大陸域で進展が全くなかったか、ほとんど見られなかった。

水界生態系に影響を及ぼす諸々の駆動要因と、その関連の圧力が複雑に絡んでいることが、それらの根本原因に対処しようとする国際的な合意目標を達成する際の主な障害になっている。たくさんの環境、社会経済、ガバナンスの目標に対して、適切な指標やターゲットが無ければ、水に関する目標や、持続可能な水界生態系の達成に向けた進展度を評価することは非常に困難である。その他の主な障害としては、能力不足、技術や融資を十分に受けられないこと、情報やデータの欠落、計量可能なターゲットの欠如などが挙げられる。モニタリングの増強に努めると共に、人の健康や幸福、環境保全に対して気候変動や異常気象が及ぼす影響について、信頼度の高いデータを手に入るよう、もっと強調されるべきである。あいにく、多くの地域で、水質、水量、生態系の健康についてのモニタリングが縮小された。その結果、気候変動に関するものを含め、データが欠落し、水問題の性格が急速に変化していることによって、



2011年10月にタイのパトゥムタニーの洪水で冠水した道路の中を、家財がぎっしり積まれたいかだを引く人々。© ruchos/iStock

水環境の評価や管理について不確実性が増している。

最後に、表 4.1 に特定された多国間の環境協定に関する現状と傾向についての分析によると、国や国際レベルで調査や、政策の策定と実施を継続的に行う必要性が高いことが分かる。また男女別のデータを含むデータ収集について、特に豪雨、洪水、干ばつといった異常気象が人々に与える影響に関して、十分に注意を払う必要がある。そうすることで、女性、子供、高齢者など、こうした異常気象の影響を受ける全ての人々の安全と生活を増強することになる将来の政策を策定し、採用し、実施するための基盤が形成されるはずである (Bennett *et al.* 2005)。本評価は、データや情報の多くの欠落のために制限を受けてはいるけれども、本章の中で特定した水やそれに関連する土地の問題に対処するための、有用な政策的措置を策定するに当たっては、十分に情報は存在している。

表 4.3 目標への進展 (表4.1を参照)

A: 著しい進展 B: ある程度の進展		C: 全く無いかほとんど進展が無い D: 悪化している		X: 進展を評価するには早過ぎ ?: データ不十分	
鍵となる課題と目標	状態と傾向	展望	欠落している点		
1. 生態系					
陸水生態系とそのサービスを保護し回復させる。	? 半分の国々は、統合的水資源管理計画を策定し実行することに対して、著しい進展を見せた。しかし、陸水生態系の管理の改善がどれほど反映されているかは不明瞭である。特に開発途上国で、多くの中規模や大規模なダムが1990年以降建造され、陸水生態系の機能に不可欠な流況が壊されつつある (第5章を参照)。	エネルギー需要や食品需要の増大によって、より多くのダムや灌漑設備を建造しようとする圧力が、駆り立てられ続けるだろう。	陸水生態系の状態についての世界的データ；深刻で慢性的な影響から生態系を保全し回復させるための計量可能なターゲット。		
海洋生態系とそのサービスを保護し回復させる。	D/B D: 海洋温暖化と酸性化が加速されており、海洋生態系、とりわけ珊瑚礁がストレスを受けている；415カ所の沿岸地区が富栄養で、そのうちの169カ所が低酸素の酸欠海域を抱えている。B: 数ある目標の中でも、とりわけ生態系の健全性の向上を目指す143ヶ国が関わる18の地域海条約と行動計画がある；また64の大規模海洋生態系が世界の沿岸水域を覆い、そのいくつかが効果的に管理されているが、一方、他のものは資金と参加国の誓約が不十分で、進展が遅れるという結果になっている。B: 保護地区に関しては第5章を参照のこと。	多くの熱帯珊瑚礁が、海洋の酸性化と温暖化により2050年までに急激に死ぬかもしれない；海洋生態系に対する他の重大な脅威は、陸上からもたらされる汚染と、公海のカバナンスの欠如などである。	海洋のpHターゲット。		

表 4.3 目標への進展 (表4.1を参照) つづき

1. 生態系 つづき				
湿地の管理を向上させ保全する。	D	第3章と第5章を参照のこと。		
環境が必要とする水を確保する。	D	主要な河川流域のほぼ3分の1において、人の水消費が、環境流量を利用しているために、生態系を危険にさらしている。	水需要の増大で、より悪化することが予想される。	流域レベルで生態系サービスを維持するために必要な毎月の環境流量に関するデータ；環境が必要とする水についての法的認知（第2部）；環境が必要とする最低限の水が流域レベルで満たされるように規定し保証するためのターゲット；流域配分の仕組みの中に環境流量を取り込むこと。
2. 人の幸福				
水に関連する人への健康被害を低減する。	B	改善された水の供給や下水設備の利用を増やすことによって、水に関連する人への健康被害が世界的に低減され、また、いくつかの水関連疾患を減らすことに、著しく成功した；しかし、2004年の時点でまだ毎年350万人が、水に関連する疾病で死んでいる；まひ性貝中毒の頻度が1970年以降5倍に増加した。	水の供給と下水設備の利用が改善され続けると予想される。アフリカは世界の他よりも遅れると予想される。	水に関連する疾病と被害についての最新データ；地方のスケールでミレニアム開発目標を厳格に実施するための仕組み。
改善された飲料水の供給を公平に利用できるようにする。	A/B	A：改善された飲料水の供給を利用できない人口は1990年の23%から2008年の13%に減少し、2015年までに9%になると予想される。B：より多くの改善が、農村社会よりも都市において為されたため、利用に関して大きな不正さが残っている；水供給の信頼性と質が、多くの区域での懸案事項である。	改善された飲料水の供給を利用できない人口は、関連するミレニアム開発目標を達成し、2015年までに9%になると予想される。	安全な（単に改善されているだけではない）飲料水の利用に関する地域別のデータ；ミレニアム開発目標を厳格に実施するための仕組み；公平ということについて合意された定義。
適切で持続可能な淡水の供給を確保する。	D/B	D：需要の増加を満たすために、世界の取水は過去50年で3倍になり、特に地下水が危険にさらされている；80%の人々が水安全保障の脅威レベルが高い区域に住んでいて、34億人が脅威の非常に深刻なカテゴリーに置かれている。B：多くの開発途上国では、ダム の 建造 によって、淡水の供給を利用できるように向上しつつある。	より多くの人々が、これから数十年のうちに、より激しい水ストレスを経験するだろう；あと数十年で、淡水使用について、惑星限界に到達することが予想される。	定義された水安全保障の測定基準と、長時間かけて傾向を追跡できるよう開発されたデータ（地下水の涵養；世界全体の取水量とエネルギー部門による消費水量；水不足とエネルギーによる水需要を世界規模でオーバーレイさせたもの）；水安全保障とそれに関連する測定基準について合意された定義。
水に関連する極端現象の影響を緩和するための計画を策定する。	B/D	B：多くの政府が、災害リスク軽減戦略の実施に向けて大きく進展したことを公表している。D：干ばつと洪水の災害数は、1980年代から2000年代までに、それぞれ38%と230%増加し、さらに洪水にさらされた人々の数は114%増加した。	降雨強度と乾燥状態の増加が、世界各地で水に関連する極端現象を強めると予想される。	様々な適応策と緩和策の全体的な費用便益分析と、緩和努力による影響の分析；水平的（例えば部門間）な政策統合と、垂直的（例えば世界から地域や地方へ）な政策統合；脆弱なコミュニティのためのリスク管理戦略。
水環境に及ぼされる気候変動の悪影響を緩和し適応する。	B/C	B：幅広い適応ツール、シナリオに基づくアプローチ、適応のための管理が、多彩な規模で定式化されつつある；また水部門における計画的介入が、後発発展途上国の国別適応行動計画（NAPA）において見られる；2006～2008年の世界銀行による水道事業の35%が、気候変動のための緩和策と適応策を含んでいた；C：気候変動に適応するための費用は、上水と下水設備に関する現在のミレニアム開発目標ターゲットを満たすのに必要な費用の上に追加が必要になるが、ミレニアムターゲットを満たす費用自体が資金不足である。	科学的な不確実性が、大陸レベルそして地方レベルで減少し、認識が増大するにつれ、緩和策と適応策が増加すると期待される；水部門と海面上昇に要する気候変動適応費用は少なくとも年間350億から1兆USドルになるだろう。	緩和成果と適応成果の報告；水に関連する気象異常に対するモニタリングと早期警報；気候変動の結果として現れる水循環への変化をモニターするための長期観測。
3. 水利用効率				
水資源の使用効率を向上させる。	B	多くの地域で灌漑効率が悪い；灌漑技術はより効率的になったが、広く適用されていない；いくつかの効率向上が仮想水取引を通じてもたらされた。	水効率改善の実施割合が、増加する需要ベースに合わせて増えていない；仮想水取引は、効率的な水の再分配を促進することができる。	水資源の効率の傾向を表す部門別（エネルギー部門など）と国別のデータ；仮想水取引の傾向データ；仮想水取引による水効率への影響；部門別の効率についての量的ターゲット；環境流量を含めた水配分の効率化。
4. 水質				
淡水汚染を低減し、かつ規制する。	?/C	全体的な傾向を評価するために利用できるような、淡水の質に関する世界規模のデータセットがない；いくつかの地方の水質には向上が見られたが、ほとんどの主要な河川系で、その中の少なくとも一部において、糞便の大腸菌が、飲料用のWHOの基準を超えている；湖沼における藻や大型水生植物の総発生量が、世界で74%増加した。	展望データは特定されなかった。	底質、栄養分、海ゴミ、有毒化学物質、新規汚染物質、に関する世界データと地域データ；総合的な長期データに基づく、正確な世界と地域の水質指標；新規汚染物質に対する水質基準とターゲット。

表 4.3 目標への進展（表4.1を参照） つづき

4. 水質 つづき				
海洋汚染を低減し規制する。	D/C/B	D：少なくとも415カ所の沿岸地区が深刻な富栄養化を抱えている。世界の栄養塩流出は1970年以降およそ15%増加した。C：多くの地域に対するデータは乏しいが、沿岸漂着ごみや海洋漂流ごみの量は、統計的に大きく変化していない。B：魚の細胞組織内の多くの汚染物質の低減；顕著な最近の汚染事象として、日本での福島原発危機やメキシコ湾でのディープウォーター・ホライズン石油流出などがある。	海洋への窒素負荷は、2000年の年間4,320万トンから、2030年には年間4,550万トンまで増加すると予想される。	底質、栄養塩類、海ゴミ、有毒化学物質、そして新たに生起している汚染物質についての世界データと地域データ。
下水の収集、処理、処分などを行う下水設備の普及率を向上させる。	B	最も貧しい農村社会のほとんどが、改善から取り残されているが、改善された下水設備を利用できる人口は、1990～2008年に54%から61%まで増加した；2008年時点で、26億人（2.5人に1人）が、改善された下水設備を利用できていない。	世界的に、改善された下水設備を利用できない人々を半減させるというミレニウム開発目標ターゲットを、達成できる軌道にない。	定義された水安全保障の測定基準と、長時間かけて傾向を追跡できるよう開発されたデータ（地下水の涵養；世界全体の取水量とエネルギー部門による消費水量；水不足と、エネルギーによる水需要を世界規模でオーバーレイさせたもの）；水安全保障とそれに関連する測定基準について合意された定義。
5. 制度と法律				
水の経済的価値を認識する。	?	生態系サービスの議論については第5章を参照のこと；第10、11、12章で、水と水界生態系の価値を反映する、水の価格決定の仕組みと、市場に基づく解決法の例を挙げる。	展望データは特定されなかった。	水に関連する生態系サービスの範囲、重要性、価値に関するデータ（例えば異常事象に対する緩衝装置としての湿地の価値）；人の健康、環境衛生、および幸福のための生態系サービスを認定、保護、評価する目標とターゲット。
法的な枠組みや規制を策定し施行する。	B	UNCLOSが、160ヶ国によって批准され、世界行動計画（GPA）が108ヶ国によって採用された；非点源に対する規制は遅れているが、産業と都市の廃水を排出するための法的な枠組みは、ほとんどの先進国に存在する；国境を超えた区域のガバナンスは、弱くかつ寸断されている；それを施行することは、依然として多くの地域で問題になっている。	展望データは特定されなかった。	国の統治権の域を超えて、環境影響を効果的に評価し、規制する能力。
制度が持つ協調のメカニズムを強化する。	B	水紛争の数は1970年代以降、増加したが、越境する水に関連する事件の3分の2は協調的である；1948年以降、295の国際的な水協定が署名された；水制度を持つ106の流域のうち、効力を有する多国間協定を持っているのは20%未満である；143ヶ国が18の地域海計画に参加し、大規模海洋生態系アプローチによって世界で64カ所の管理ユニットの線引きがなされた。	展望データは特定されなかった。	協調の効果についての測定基準。
6. 水資源管理				
統合的に管理する戦略と計画を策定し実施する。	B/?	淡水システムと海洋システムの管理のための統合的アプローチの必要性がますます認識されるようになってきている；国々のおよそ半分は、水資源管理と水効率に向けた統合的アプローチを策定し実施することに著しい進展が見られたが、2002年のWSSDターゲットの達成にはほど遠い；財政上、法制上、および/または能力上の障壁によって実施が遅れている；統合的水資源管理の長期的な効力を評価するにはデータが不十分である。	特に開発途上国は、資金、能力、ガバナンスの欠如のために、統合的管理アプローチを実施するに当たって、困難に直面するだろう。	そのようなアプローチの有効性を含めて、国々が統合的水資源管理に向けて進展していくための仕組みや、有意義なガバナンスの指標を発表すること；政策目標の実施。
適切なモニタリングシステムを開発する（国、大陸域、世界）	C/D	データが寸断され、完全に世界をカバーしていないか、定期的に更新されていない；海洋モニタリングやリモートセンシングによるデータ収集は増加したが、世界の淡水モニタリングが減少し、今は不十分である；モデリングやリモートセンシングが、多くの事例でモニタリングを補完しつつあるが、いまだに、かろうじて満たされたデータに依存している。	総合的なモニタリングシステムは、資金調達と能力の問題で、引き続き制限されるだろう。	既存のデータに関するメタデータ；総合的なモニタリングと報告制度について合意された量的目標。
利害関係者の参画を促進させ、水管理でジェンダー主流化を進める。	?	この目標を評価するために利用できるような、世界的な量的データが無い；利害関係者の参画とジェンダー主流化は、世界的により一般的になりつつあるが、まだ多くの地域で不十分である。	展望データは入手できていない。	男女の役割、性別にデータを分けることなど、利害関係者の参画を評価するためのデータ；利害関係者の参画を制度化すること；系統的なジェンダー影響評価。
地下水の管理を向上させる。	C/D/?	C：ヒ素と硝酸塩が、多くの国々の帯水層を脅かしている。D：多くの帯水層が、持続不可能な速度で水位低下させられている；効率的な管理を行うには、その問題を量的に評価するためのより多くのデータが必要である。？：越境地下水系は、大部分はデータが不十分なため、合意が為されていないために、ほとんど無視されてきた。	展望データは入手できていない。	地下水についての汚染、利用可能量、取水量に関する世界レベルのデータセット；地下水資源についての越境管理（データの欠落によって妨げられている）。

参考文献

- 2030 Water Resources Group (2009). *Charting our Water Future: Economic Frameworks to Inform Decision-Making*. http://www.mckinsey.com/App_Media/Reports/Water/Charting_Our_Water_Future_Full_Report_001.pdf
- Alcamo, J., van Vuuren, D.P. and Cramer, W. (2005a). Change in ecosystem services and their drivers across the scenarios. In *Ecosystems and Human Well-being: Scenarios*. Volume 2 (eds. Carpenter, S.R., Pingali, P., Bennett, E.M. and Zurek, M.B.). Island Press, Washington, DC
- Alcamo, J., van Vuuren, D., Ringler, C., Cramer, W., Masui, T., Alder, J. and Schulze, K. (2005b). Changes in nature's balance sheet: model-based estimates of future worldwide ecosystem services. *Ecology and Society* 10(2), 19
- Ali, M.H. (2010). *Fundamentals of Irrigation and On-Farm Water Management* Volume 1, and *Practices of Irrigation and On-Farm Water Management* Volume 2. Springer Science+Business Media, New York, NY
- AMAP (2007). *Arctic Oil and Gas 2007: Overview Report of the Assessment of Oil and Gas Activities in the Arctic*. Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo. <http://www.amap.no/oga/>
- AMCOW (2008). *Roadmap for the Africa Groundwater Commission*. African Ministers' Council on Water. UNEP/UNESCO/UWC, Nairobi
- Anderson, D.M., Reguera, B., Pitcher, G.C. and Enevoldsen, H.O. (2010). The IOC international harmful algal bloom program: history and science of impacts. *Oceanography* 23, 72–85
- Antonov, J.L., Levitus, S. and Boyer, T.P. (2005). Thermostatic sea level rise, 1955–2003. *Geophysical Research Letters* 32, L12602
- Bakkes, J.A. and Bosch, P.R. (eds.) (2008). *Background Report to the OECD Environmental Outlook to 2030: Overview, Details, and Methodology of Model-based Analysis*. MNP Report 500113001. Netherlands Environmental Assessment Agency (Milieu-en Natuurplanbureau) and Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. and Palutikof, J.P. (eds.) (2008). *Climate Change and Water*. Technical paper of Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat, Geneva
- Bennett, V., Dávila-Poblete, S. and Rico, M.N. (2005). *Opposing Currents: The Politics of Water and Gender in Latin America*. University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, PA
- Bird, K.J., Charpentier, R.R., Gautier, D.L., Houseknecht, D.W., Klett, T.R., Pitman, J.K., Moore, T.E., Schenk, C.J., Tennyson, M.E. and Wandrey, C.J. (2008). *Circum-Arctic Resource Appraisal: Estimates of Undiscovered Oil and Gas North of the Arctic Circle*. US Geological Survey Fact Sheet 2008-3049. <http://pubs.usgs.gov/fs/2008/3049/>
- Biswas, A.K. (2004). Integrated water resources management: a re-assessment. *Water International* 29(2), 248–256
- Biswas, A. and Tortajada, C. (2011). Water quality management: an introductory framework. *Water Resources Development* 27(1), 5–11
- Boelee, E. (ed.) (2011). *Ecosystems for Water and Food Security*. United Nations Environment Programme, Nairobi and International Water Management Institute, Colombo
- Brauch, H.G., Oswald Spring, U., Grin, J., Mesjasz, C., Kameri-Mbote, P., Behera, N.C., Chourou, B. and Krummenacher, H. (eds.) (2009). *Facing Global Environmental Change: Environmental, Human, Energy, Food, Health and Water Security Concepts*. Springer-Verlag, Berlin; Heidelberg; New York
- Brunt, R., Vasak, L. and Griffioen, J. (2004). *Arsenic in Groundwater: Probability of Occurrence of Excessive Concentration on Global Scale*. Report SP 2004-1. International Groundwater Resource Centre (IGRAC), Delft
- Cazenave, A. and Llovel, W. (2010). Contemporary sea level rise. *Annual Review of Marine Science* 2, 145–173
- CBD (1997). *Jakarta Mandate on Marine and Coastal Biological Diversity*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. <http://www.cbd.int/doc/meetings/mar/jmem-01/official/jmem-01-02-en.pdf>
- Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2008). The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products. *Water International* 33(1), 19–32
- Chao, B.F., Wu, Y.H. and Li, Y.S. (2008). Impact of artificial reservoir water impoundment on global sea level. *Science* 320(5), 212–214
- Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture (2007). *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Earthscan, London and International Water Management Institute, Colombo
- Davis, J.A., Hunt, J.A., Greenfield, B.K., Fairey, R., Sigala, M., Crane, D.B., Regalado, K. and Bonnema, A. (2003). *Contaminants in Fish from the San Francisco Bay 2003*. SFEI Contribution 432. San Francisco Estuary Institute, Oakland, CA
- De Stefano, L., Edwards, P., de Silva, L. and Wolf, A.T. (2010). Tracking cooperation and conflict in international basins: historic and recent trends. *Water Policy* 12, 871–884
- Diaz, R.J., Selman, M. and Chique-Canache, C. (2010). *Global Eutrophic and Hypoxic Coastal Systems: Eutrophication and Hypoxia – Nutrient Pollution in Coastal Waters*. World Resources Institute, Washington, DC. <http://www.wri.org/project/eutrophication>
- Dyrgerov, M.B. and Meier, M.F. (2005). *Glaciers and the Changing Earth System: A 2004 Snapshot*. Occasional Paper 58. Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado, Boulder, CO
- EIA (2011). *World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States*. <http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/pdf/fullreport.pdf>
- EM-DAT (2011). *EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database*. Université Catholique de Louvain, Brussels. www.emdat.be
- Falkenmark, M. and Rockström, J. (2004). *Balancing Water for Humans and Nature: The New Approach in Ecohydrology*. Earthscan, London
- FAO (2008). *FAO-Aquastat: Proportion of Renewable Water Resources Withdrawn (MDG Water Indicator)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/globalmaps/index.stm> (accessed May 2011)
- Feely, R.A., Doney, S.C. and Sarah, R. (2009). Ocean acidification: present conditions and future changes in a high-CO₂ world. *Oceanography* 22(4), 36–47
- Foster, S., Garduno, H., Kemper, K., Tuinhof, A., Nanni, M. and Dumars, C. (2006). *Groundwater Quality Protection: Defining Strategy and Setting Priorities*. Briefing Note Series 8. World Bank, Washington, DC
- Galgani, F., Leaute, J.P., Moguedet, P., Souplet, A., Verin, Y., Carpentier, A., Goraguer, H., Latrouite, D., Andral, B., Cadiou, Y., Mahe, J.C., Poullar, J.C. and Nerisson, P. (2000). Litter on the sea floor along European coasts. *Marine Pollution Bulletin* 40(6), 516–527. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X99002349>
- Garrick, D., Siebentritt, M.A., Aylward, B., Bauer, D.C.J. and Purkey, A. (2009). Water markets and freshwater services: policy reform and implementation in the Columbia and Murray-Darling Basins. *Ecological Economics* 69, 366–379
- GESAMP (2010). *Proceedings of the GESAMP International Workshop on Plastic Particles as a Vector in Transporting Persistent, Bio-accumulating and Toxic Substances in the Oceans*. GESAMP Rep. Stud. No. 82 (eds. Bowmer, T. and Kershaw, P.J.). IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection
- Gleick, P.H. (2003). Global freshwater resources: soft-path solutions for the 21st century. *Science* 302, 1524–1528
- Gleick P.H. and Palaniappan, M. (2010). Peak water limits to freshwater withdrawal and use. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107, 11155–11162
- Glennie, P., Lloyd, G.J. and Larsen, H. (2010). *The Water-Energy Nexus: The Water Demands of Renewable and Non-Renewable Electricity Sources*. DHI, Hørsholm
- Global Water Partnership (2006). *Setting the Stage for Change: Second Informal Survey by the GWP Network g Giving the Status of the 2005 WSSD Target on National Integrated Water Resources Management and Water Efficiency Plans*. Global Water Partnership, Stockholm
- Global Water Partnership (2000). *Integrated Water Resources Management*. Background Paper No. 4. Technical Advisory Committee, Global Water Partnership, Stockholm
- Gordon, L.J., Steffen, W., Jonsson, B.F., Folke, C., Falkenmark, M. and Johannessen, A. (2005). Human modification of global water vapor flows from the land surface. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102, 7612–7617
- Gorman, P.A. and Schneider, T. (2009). The physical basis for increases in precipitation extremes in simulations of 21st century climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106(35), 14773–14777
- Greenberg, M.R. (2009). Water, conflict, and hope. *American Journal of Public Health* 99(11), 1928–1930
- Hassellöv, M., Readman, J.W., Ranville, J.F. and Tiede, K. (2008). Nanoparticle analysis and characterization methodologies in environmental risk assessment of engineered nanoparticles. *Ecotoxicology* 17(5), 344–361
- HELCOM (2009). *Marine Litter in the Baltic Sea Region: Assessment and Priorities for Response*. Helsinki Commission, Baltic Marine Environment Protection Commission.
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P.J., Hooten, A.J., Steneck, R.S., Greenfield P., Gomez, E., Harvell, C.D., Sale, P.F., Edwards, A.J., Caldeira, K., Knowlton, N., Eakin, C.M., Iglesias-Prieto, R., Muthiga, N., Bradbury, R.H., Dubi, A. and Hatzioiols, M.E. (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science* 318, 1737–1742
- Hoekstra, A.Y. and Mekonnen, M.M. (2011). *Global Water Scarcity: Monthly Blue Water Footprint Compared to Blue Water Availability for the World's Major River Basins*. Value of Water Research Report Series No.53. UNESCO-IHE, Delft
- International Lake Environment Committee (2006). *Managing Lakes and their Basins for Sustainable Use: A Report for Lake Basin Managers and Stakeholders*. International Lake Environment Committee Foundation, Kusatsu
- IMO (1972) *Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter*. International Maritime Organization. <http://www.ecolex.org/server2.php/libcat/docs/TRE/Multilateral/En/TRE000420.txt>
- IOM (2010). *Disaster Risk Reduction, Climate Change Adaptation and Environmental Migration: A Policy Perspective*. International Organization for Migration, Geneva

- IPCC (2011). Summary for policymakers. In *Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* (eds. Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.-K., Allen, S., Tignor, M., Midgley, P.M.). Cambridge University Press, Cambridge
- IPCC (2007a). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Working Group I contribution to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge
- IPCC (2007b). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds. Pachauri, R.K. and Reisinger, A.). IPCC, Geneva
- IPCC (2007c). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Working Group II contribution to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge
- Ishii, M. and Kimoto, M. (2009). Re-evaluation of historical ocean heat content variations with varying XBT and MBT depth bias corrections. *Journal of Oceanography* 65(3), 287–299. doi:10.1007/s10872-009-0027-7
- ITOPF (2010). Oil tanker spill statistics. International Tanker Owners Pollution Federation Ltd. <http://www.itopf.com/information-services/data-and-statistics/statistics/index.html>
- Johnson, B.M., Kanagy, L.E., Rodgers, J.H. and Castle, J.W. (2007). Chemical, physical, and risk characterization of natural gas storage produced waters. *Water, Air and Soil Pollution* 191, 33–54
- Karakezi, S., Kimani, J., Onguru, O. and Kithyoma, W. (2009). *Large Scale Hydropower, Renewable Energy and Adaptation to Climate Change: Climate Change and Energy Security in East and Horn of Africa*. Energy, Environment and Development Network for Africa (AFREPEN/FWD), Nairobi. <http://www.boell.or.ke/downloads/RenewableEnergyandAdaptationtoClimateChangePublication.pdf> (accessed 1 September 2010) and www.afrepren.org/Pubs/Occasional_Papers/pdfs/OP33.pdf
- Kelly, E.N., Schindler, D.W., Rodson, P.V., Short, J.W., Radmanovich, R. and Nielsen, C.C. (2010). Oil sands development contributes elements toxic at low concentrations to the Athabasca River and its tributaries. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107(37), 16178–16183
- Kipping, M. (2009). Water security in the Senegal River basin: water cooperation and water conflicts. In *Facing Global Environmental Change: Environmental, Human, Energy, Food, Health and Water Security* (eds. Brauch, H.G., Oswald Spring, U., Grin, J., Mesjasz, C., Kameri-Mbote, P., Behera, N.C., Chourou, B. and Krummenacher, H.). pp. 675–684. Springer-Verlag, Berlin; Heidelberg; New York
- Kleinen, T. and Petschel-Held, G. (2007). Integrated assessment of changes in flooding probabilities due to climate change. *Climatic Change* 81, 283–312
- Kundzewicz, Z.W. and Kowalczak, P. (2009). The potential for water conflict is on the increase. *Nature* 459, 31
- Kundzewicz, Z.W., Mata, I.J., Arnell, N.W., Döll, P., Kabat, P., Jiménez, B., Miller, K.A., Oki, T., Sen, Z. and Shiklomanov, I.A. (2007). Freshwater resources and their management. In *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability*. Working Group II contribution to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds. Parry, M.I., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. and Hanson, C.E.). pp.173–210. Cambridge University Press, Cambridge
- Langdon C. and Atkinson, M.J. (2005). Effect of elevated pCO₂ on photosynthesis and calcification of corals and interactions with seasonal change in temperature/irradiance and nutrient enrichment. *Journal of Geophysical Research* 110, C09S07
- Lansky, L. and Uitto, J.I. (eds.) (2005). *Enhancing participation and governance in water resources management: conventional approaches and information technology*. United Nations University Press, Tokyo; New York; Paris
- Law, K.L., Morét-Ferguson, K., Maximenko, S., Proskurowski, N.A., Peacock, E.E., Hafner, J. and Reddy, C.M. (2010). Plastic accumulation in the North Atlantic subtropical gyre. *Science* 329(5996), 1185–1188
- Lenton, R. and Muller, M. (2009). *Integrated Water Resources Management in Practice: Better Water Management for Development*. Earthscan, London
- Levitus, S., Antonov, J.L., Boyer, T.P., Locarnini, R.A., Garcia, H.E. and Mishonov, A.V. (2009). Global ocean heat content 1955–2008 in light of recently revealed instrumentation. *Geophysical Research Letters*, 36
- Lewis, W.M. (2011). Global primary production of lakes: 19th Baldi Memorial Lecture. *Inland Waters* (in press)
- Logan, C.A. (2010). A review of ocean acidification and America's response. *Bioscience* 60, 819–828
- Lugeri, N., Kundzewicz, Z.W., Genovese, E., Hochrainer, S. and Radziejewski, M. (2010). River flood risk and adaptation in Europe – assessment of the present status. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15, 621–639
- MA (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water Synthesis*. Millennium Ecosystem Assessment. World Resources Institute, Washington, DC
- MARPOL (2011). *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)*. <http://www.imo.org/about/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-%28marpol%29.aspx>
- Martinez, E., Maamaatuaiahutapu, K. and Taillandier, V. (2009). Floating marine debris surface drift: convergence and accumulation toward the South Pacific subtropical gyre. *Marine Pollution Bulletin*, 58(9), 1347–1355
- Matthews, J., Wickel, B. and Freeman, S. (2011). Converging currents in climate-relevant conservation: water, infrastructure, and institutions. *PLOS Biology* 9(9), e1001159
- McGranahan, G., Balk, D. and Anderson, B. (2007). The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and Urbanization* 19, 17–37
- Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2011). *National Water Footprint Accounts: The Green, Blue and Grey Water Footprint of Production and Consumption*. Value of Water Research Report Series No. 50. UNESCO-IHE, Delft
- National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling (2011). *Deep Water: The Gulf Oil Disaster and the Future of Offshore Drilling*. Report to the President, United States of America
- Navarro, E., Baun, A., Behra, R., Hartmann, N.B., Filser, J., Miao, A.J., Quigg, A., Santshi, P.H. and Sigg, L. (2008). Environmental behaviour and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi. *Ecotoxicology* 17, 372–386
- OECD (2008). *Environmental Outlook to 2030*. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris
- Osborn, S.G., Vengosh, A., Warnder, N.R. and Jackson, R.B. (2011). Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108(20), 8172–8176. <http://www.pnas.org/content/early/2011/05/02/1100682108>
- Oshihoi, T., Isobe, T., Takahashi, S., Kubodera, T. and Tanabe, S. (2009). Contamination status of organohalogen compounds in deep-sea fishes in northwest Pacific ocean off Tohoku, Japan. In *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry – Environmental Research in Asia* (eds. Obayashi, Y., Isobe, T., Subramanian, A., Suzuki, S. and Tanabe S.). pp. 67–72. Terrapub, Tokyo
- OSPAR (2009). *Marine Litter in the North-East Atlantic Region: Assessment and Priorities for Response*. OSPAR Commission, London.
- Osti, R., Hishinuma, S., Miyake, K. and Inomata, H. (2011). Lessons learned from statistical comparison of flood impact factors among southern and eastern Asian countries. *Journal of Flood Risk Management* 4(3), 203–215
- Oswald Spring, U. (2007). Hydro-diplomacy: opportunities for learning from an interregional process. In *Integrated Water Resources Management and Security in the Middle East* (eds. Lipchin, C., Pellant, E., Saranga, D. and Amster, A.). pp.163–200. Springer, Dordrecht
- Oswald Spring, U. and Brauch, H.G. (2009). Securitizing water. In *Facing Global Environmental Change: Environmental, Human, Energy, Food, Health and Water Security Concepts* (eds. Brauch, H.G., Oswald Spring, U., Grin, J., Mesjasz, C., Kameri-Mbote, P., Behera, N.C., Chourou, B. and Krummenacher, H.). Springer-Verlag, Ebook at SpringerLink
- Pacific Institute (2011). *Water Conflict Chronology List*. <http://www.worldwater.org/conflict/list/>
- Parry, M., Arnell, N., Berry, P., Dodman, D., Fankhauser, S., Hope, C., Kovats, S., Nicholls, R., Satterthwaite, D., Tiffin, R. and Wheeler, T. (2009). *Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change: A Review of the UNFCCC and Other Recent Estimates*. International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change, London
- Pereira, L.A.S., Cordero, I. and Iacovides, I. (2009). *Coping with Water Scarcity: Addressing the Challenges*. Springer Science
- Perret, S., Stefano, F. and Rashid, H. (eds.) (2006). *Water Governance for Sustainable Development: Approaches and Lessons from Developing and Transitional Countries*. Earthscan, London
- Placht, M. (2007). Integrated water resource management: incorporating integration, equity, and efficiency to achieve sustainability. *International Development, Environment and Sustainability* 3. <http://fletcher.tufts.edu/ierp/ideas/issue3.html>
- Portmann, F.T., Siebert, S. and Döll, P. (2010). MIRCA 2000 – Global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: a new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling. *Global Biogeochemical Cycles* 24, GB1011. doi:10.1029/2008GB003435
- Prüss-Üstün, A., Bos, R., Gore, F. and Bartram, J. (2008). *Safer Water, Better Health: Costs, Benefits and Sustainability of Interventions to Protect and Promote Health*. World Health Organization, Geneva. http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/saferwater/en/index.html
- Rabalais, N.N., Diaz, R.J., Levin, L.A., Turner, R.E., Gilbert, D. and Zhang, J. (2010). Dynamics and distribution of natural and human-caused hypoxia. *Biogeosciences* 7, 585–619
- RCSE-SU and ILEC (2011). *Development of ILBM Platform Process: Evolving Guidelines through Participatory Improvement*. Research Center for Sustainability and Environment, Shiga University and International Lake Environment Committee, Kusatsu
- Ribic, C.A., Sheavly, S.B., Rugg, D.J. and Erdmann, E.S. (2010). Trends and drivers of marine debris on the Atlantic coast of the United States 1997–2007. *Marine Pollution Bulletin* 60, 1231–1242
- Rignot, E. (2008). Changes in West Antarctic ice dynamics observed with ALOS PALSAR. *Geophysical Research Letters* 35, L12505

- Rignot, E., Velicogna, I., van den Broeke, M.R., Monaghan, A. and Lenaerts, J. (2011). Acceleration of the contribution of the Greenland and Antarctic ice sheets to sea level rise. *Geophysical Research Letters* 38, L05503
- Rockström, J., Stefen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. and Foley, J.A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature* 461, 472–475
- Rohrer, J., Gerten, D. and Lucht, W. (2007). *Development of Functional Irrigation Types for Improved Global Crop Modelling*. PIK Report No. 104. Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam
- Rosenfeld, D., Lohmann, U., Raga, G.B., O'Dowd, C.D., Kulmala, M., Fuzzi, S., Reissell, A. and Andreae, M.O. (2008). Flood or drought: how do aerosols affect precipitation? *Science* 321(5894), 1309–1313
- Rothman, D., Agard, J. and Alcamo, J. (2007). The future today. In *Global Environment Outlook-4 (GEO-4)*. pp.395–454. United Nations Environment Programme, EarthPrint, Stevenage
- Ryan, P.G., Moore, C.J., van Franeker, J.A. and Moloney, C.L. (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 364, 1999–2012
- Sauer, A., Klop, P. and Agrawal S. (2010). *Over Heating: Financial Risks from Water Constraints on Power Generation in Asia: India, Malaysia, Philippines, Thailand, Vietnam*. World Resources Institute, Washington, DC
- Schwarzenbach, R.P., Egli, T., Hofstetter, T.B., von Gunten, U. and Wehrli, B. (2010). Global water pollution and human health. *Annual Review of Environment and Resources* 35, 109–136
- Seitzinger, S.P., Mayorga, E., Bouwman, A.F., Kroeze, C., Beusen, A.H.W., Billen, G., Van Drecht, G., Dumont, E., Fekete, B.M., Garnier, J. and Harrison, J.A. (2010). Global river nutrient export: a scenario analysis of past and future trends. *Global Biogeochemical Cycles* 24, GBOA08
- Sheavly, S.B. (2007). *National Marine Debris Monitoring Program: Final Program Report, Data Analysis and Summary*. Ocean Conservancy, Washington, DC
- Stanners, D., Bosch, P., Dom, A., Gabrielsen, P., Gee, D., Martin, J., Rickard, L. and Weber, J.-L. (2007). Frameworks for environmental assessment and indicators at the EEA. In *Sustainability Indicators – A Scientific Assessment* (eds. Håk, T., Moldan, B. and Dahl, A.). Island Press, Washington, DC.
- UNCED (1992). *Agenda 21* (Chapter 18). United Nations Conference on Environment and Development. <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/english/Agenda21.pdf>
- UNCLOS (1982). *United Nations Convention on the Law of the Sea*. http://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_e.pdf
- UNDESA (2010). *Millennium Development Goals Report*. United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York. http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Resources/Static/Products/Progress2010/MDG_Report_2010_En.pdf
- UNDP (2006). *Human Development Report 2006. Beyond Scarcity: Power, Poverty and the Global Water Crisis*. United Nations Development Programme, New York. <http://undp.org/en/media/HDR06-complete.pdf> (accessed February 2010)
- UNEP (2009). *Marine Litter: A Global Challenge*. United Nations Environment Programme, Nairobi
- UNEP-GEMS/Water Programme (2008). *Water Quality for Ecosystem and Human Health*, 2nd ed. United Nations Environment Programme GEMS/Water Programme, Burlington. http://www.gemswater.org/publications/pdfs/water_quality_human_health.pdf
- UNESCO (2009). *Water in a Changing World*. 3rd United Nations World Water Development Report. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris. <http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr3/tableofcontents.shtml>
- UNESCO (2006). *Water: A Shared Responsibility*. 2nd United Nations World Water Development Report. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris. <http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr2/>
- UNFCCC (2007). *Investment and Financial Flows to Address Climate Change*. Climate Change Secretariat, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn
- UNFCCC (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. http://unfccc.int/key_documents/the_convention/items/2853.php
- UNISDR (2011). *Revealing Risk, Redefining Development*. 2011 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Risk Reduction, Geneva
- UN-Water (2012). Status Report on the Application of Integrated Approaches to Water Resources Management. <http://www.unwater.org/rio2012/>
- Vörösmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M.O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S.E., Sullivan, C.A., Liemann, C.R. and Davies, P.M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467(7315), 555–561
- Wada, Y., van Beek, L.P.H., van Kempen, C.M., Reckman, J.W.T.M., Vasak, S. and Bierkens, M.F.P. (2010). Global depletion of groundwater resources. *Geophysical Research Letters* 37, L20402
- Walton, D.A. and Ivers, L.C. (2011). Responding to cholera in post-earthquake Haiti. *New England Journal of Medicine* 364, 3–5
- Watson, N., Walker, G. and Medd, W. (2007). Critical perspectives on integrated water management. *The Geographical Journal* 173(4), 297–299
- WBGU (2008). *World in Transition – Climate Change as a Security Risk*. Earthscan, London. http://www.wbgu.de/wbgu_jg2007_engl.html
- Wentz, F.J., Ricciardulli, L., Hilburn, K. and Mears, C. (2007). How much more rain will global warming bring? *Science* 317, 233–235
- WHO (2012). WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme (JMP) for water supply and sanitation: data resources and estimates. World Health Organization, Geneva. <http://www.wssinfo.org/data-estimates/introduction>
- WHO (2011a). *Water-Related Diseases: Information Sheets*. Water, sanitation and health. World Health Organization, Geneva. http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diseasefact/en/index.html
- WHO (2011b). *Guidelines for Drinking-Water Quality*. Fourth edition. World Health Organization, Geneva. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/9789241548151_ch07.pdf
- WHO (2010). *Weekly Epidemiological Record* 85(31), 293–308. World Health Organization, Geneva
- WHO (2004). *Burden of Disease (in DALYs) Attributable to Water, Sanitation and Hygiene*. World Health Organization, Geneva
- WHO (2003a). Algae and cyanobacteria in fresh water. In *Guidelines for Safe Recreational Waters Volume 1: Coastal and Fresh Waters*. World Health Organization, Geneva. http://www.who.int/water_sanitation_health/bathing/srwe1-chap8.pdf
- WHO (2003b). Faecal pollution and water quality. In *Guidelines for Safe Recreational Waters Volume 1: Coastal and Fresh Waters*. World Health Organization, Geneva. http://www.who.int/water_sanitation_health/bathing/srwe1/en/index.html
- Willis, J., Roemmich, D. and Cornuelle, B. (2004). Interannual variability in upper-ocean heat content, temperature and thermocline expansion on global scales. *Journal of Geophysical Research* 109, C12037
- Wolf, A.T. (2007). Shared waters: conflict and cooperation. *Annual Review of Environment and Resources* 32, 3.1–3.29
- World Bank (2010). *The Cost to Developing Countries of Adapting to Climate Change: New Methods and Estimates*. The Global Report of the Economics of Adaptation to Climate Change Study Consultation Draft. World Bank, Washington, DC
- World Bank (2009). *Water and Climate Change: Understanding the Risks and Making Climate-Smart Investment Decisions*. World Bank, Washington, DC <http://siteresources.worldbank.org/EXTNTFPSI/Resources/DPWaterClimateChangeWebLarge.pdf>
- World Water Council (2000). *Ministerial Declaration of The Hague on Water Security in the 21st Century*. http://www.worldwatercouncil.org/fileadmin/wwc/Library/Official_Declarations/The_Hague_Declaration.pdf
- WSSD (2002). *Johannesburg Plan of Implementation (JPOI)*. World Summit on Sustainable Development. http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/English/POIToc.htm
- Zhao, M. and Running, S.W. (2010). Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009. *Science* 329(5994), 940–943