



## 世界土壌資源報告：要約報告書 国際連合食糧農業 機関 土壌に関する政府間技術パネル

著者	高田 裕介, 和穎 朗太, 赤羽 幾子, 板橋 直, レオン 愛, 米村 正一郎, 白戸 康人, 岸本 文紅, 長谷川 広美, 八木 一行
雑誌名	農業環境技術研究所報告
巻	35
ページ	119-153
発行年	2016-03
URL	<a href="http://doi.org/10.24514/00003019">http://doi.org/10.24514/00003019</a>

doi: 10.24514/00003019

農環研報 35,  
119 – 153 (2016)

## Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Technical Summary

### 世界土壌資源報告：要約報告書

国際連合食糧農業機関 (Food and Agriculture Organization of United Nations, FAO)  
土壌に関する政府間技術パネル (Intergovernmental Technical Panel on Soils, ITPS)

高田裕介\*・和穎朗太\*\*・赤羽幾子\*\*\*・板橋 直\*\*・レオン愛\*・米村正一郎\*\*\*\*  
白戸康人\*、岸本(莫)文紅\*\*・長谷川広美\*\*\*\*\*・八木一行\*\*\*\*\* 訳

(平成28年3月14日受理)

First published in English as Status of the World's Soil Resources (SWSR)-Technical Summary  
by the Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO) and the Intergovernmental  
Technical Panel on Soils (ITPS) (2015)  
©FAO, 2015

Japanese translation: ©National Institute for Agro-Environmental Sciences (NIAES), 2016  
Responsibility for the translation lies entirely with the National Institute for Agro-Environmental  
Sciences (NIAES)

本書は国際連合食糧農業機関 (FAO) から Status of the World's Soil Resources (SWSR)  
-Technical Summary として英語で出版された (2015)。  
©国際連合食糧農業機関 (FAO), 2015

日本語訳：©国立研究開発法人農業環境技術研究所 (NIAES), 2016

日本語訳の責任はすべて国立研究開発法人農業環境技術研究所 (NIAES) にある。

---

\* 国立研究開発法人 農業環境技術研究所 農業環境インベントリーセンター

\*\* 国立研究開発法人 農業環境技術研究所 物質循環研究領域

\*\*\* 国立研究開発法人 農業環境技術研究所 土壌環境研究領域

\*\*\*\* 国立研究開発法人 農業環境技術研究所 大気環境研究領域

\*\*\*\*\* 国立研究開発法人 農業環境技術研究所 研究コーディネータ室

\*\*\*\*\* 国立研究開発法人 農業環境技術研究所 研究コーディネータ

## 目次

日本語訳出版にあたって……………	121	土壌汚染……………	132
序文……………	122	変化傾向（トレンド）……………	133
土壌に関する政府間技術パネル（ITPS）からの		Ⅶ 土壌と生物多様性……………	133
キーメッセージ……………	123	Ⅷ 土壌の状態に関する地域的な変化傾向……………	134
Ⅰ はじめに……………	124	サハラ砂漠以南のアフリカ……………	134
Ⅱ 地球規模の土壌変化を引き起こす要因……………	125	アジア……………	135
Ⅲ 土壌と食料安全保障……………	126	ヨーロッパおよびユーラシア……………	138
土壌侵食……………	127	ラテンアメリカおよびカリブ……………	140
養分不均衡……………	127	近東および北アフリカ……………	142
土壌炭素と生物多様性の損失……………	127	北アメリカ……………	144
土地転用（ランドテイク）と土壌被覆……………	128	南西太平洋……………	144
土壌の酸性化、汚染および塩類集積……………	128	南極大陸……………	147
土壌の圧密と湛水……………	129	Ⅸ 土壌機能への脅威に関する全球的な要約……………	148
持続可能な土壌管理……………	129	Ⅹ 土壌政策……………	148
Ⅳ 土壌と水……………	129	教育および啓発活動……………	148
水食、地表水質の調節および水系の健康……………	129	モニタリングと予測システム……………	148
汚染物質の濾過、形態変化および地下水質……………	130	市場への土壌情報の提供……………	150
水量の調節と洪水……………	130	適切な奨励制度と規制……………	150
Ⅴ 土壌と気候調節……………	130	世代間の公平性の確保……………	150
土壌有機炭素の損失……………	130	地方・地域・世界の安全保障を支える……………	151
土壌からのメタン発生……………	131	相関性と因果関係の理解……………	151
土壌からの一酸化二窒素発生……………	132	分野横断的な問題……………	151
Ⅵ 土壌と人間の健康……………	132	Ⅺ これからにむけて……………	152

## 日本語訳出版にあたって

本書は、国際土壌年（2015年）の世界土壌デー（12月5日）に、国際連合食糧農業機関（FAO: Food and Agriculture Organization of United Nations）と土壌に関する政府間技術パネル（ITPS: Intergovernmental Technical Panel on Soils）により出版された「Status of the World's Soil Resources (SWSR)-Technical Summary」を、国立研究開発法人農業環境技術研究所の有志により翻訳したものである。サブタイトルに「要約報告書 (Technical Summary)」とあるように、本書は、600ページを超える「全体報告書 (Main Report)」に記載された主な知見をとりまとめた要約版の日本語訳である。「全体報告書」の作成には、世界60ヶ国から200名を超える研究者が参加し、ITPSを中心に、約2年の期間を費やして精力的な作業が進められた。我が国からも10名の研究者が執筆協力者として名を連ねている。

序文にもあるとおり、本「世界土壌資源報告」は、土壌にかかわる問題に対し、国際社会が協調して取り組むために設立された地球土壌パートナーシップ（GSP: Global Soil Partnership）と、その政府間科学パネルであるITPSの最初の成果のひとつである。そして、本報告書は、土壌と土壌に関わる問題を地球規模で包括的に評価した初めての報告書であり、さまざまな地球規模での環境問題との悪戦苦闘を続けている現在の国際社会に対し、科学的見地からの示唆を与える貴重な資料のひとつとして評価され、活用されるべきものである。

この日本語訳を出版するにあたり、本書が、我が国の研究者、技術者、政策担当者だけでなく、全国各地での土壌管理に係わる方々に、地球規模での土壌の問題に関する最新情報を提供することにより、我が国の豊かな土壌資源を保全するための一助になることを切に願う。さらに、本書に示された問題解決策を進めるために、国際的な重要性を高めているGSPとITPSの活動に対する、ご関心とご協力を願ってやまない。

なお、本書の原文と「全体報告書」の全ての内容は、FAOのGSPホームページ<sup>1)</sup>にてダウンロード可能である。

訳者を代表して

国立研究開発法人農業環境技術研究所  
研究コーディネータ  
八木一行

---

<sup>1)</sup> <http://www.fao.org/globalsoilpartnership/en/>

## 序文

この報告書は、土壌と土壌に関わる問題を地球規模で評価した、これまでにない初めての重要な報告書である。

なぜ、そのような評価がこれまでされてこなかったのか？私たちは土壌をあたりまえのものと長い間とらえてきた。しかし、土壌は、植物に栄養、水を与え、その根を支えるという、食料生産と食料安全保障にとっては基盤となるものである。土壌は地球最大の水のろ過や貯蔵タンクとして機能する。土壌は地上のすべての植物よりも多くの炭素を貯留していることから、二酸化炭素や他の温室効果ガスの放出を調整する役割を果たす。さらに土壌は計り知れない生物の多様性を宿し、生態系プロセスにとって重要な要となる役割もある。

しかし、特に世界中の土壌専門家が懸念している“自然資源としての土壌”への深刻な脅威を踏まえると、私たちはこれまで逆の姿勢をとり続けてきた。国際社会が協調して行動を起こす必要性を十分に認識してきた今、国際連合食糧農業機関(FAO: Food and Agriculture Organization of United Nations)が主催する地球土壌パートナーシップ(GSP: Global Soil Partnership)に対する科学的な諮問・助言委員会である土壌に関する政府間技術パネル(ITPS: Intergovernmental Technical Panel on Soils)が主導して、この切望されてきた評価を行う準備を進めた。

「世界土壌資源報告書」の発行は、国連総会が宣言した国際土壌年(2015年)という年を迎えるにあたり、まさに時宜を得たことである。これを可能にしたのは、関係する著名な土壌科学者とその研究機関の献身的な努力と貢献による。この報告書に貢献した主執筆者と寄稿者、編集者、査読者、そして特にITPSの議長の熱心な指導と綿密なフォローアップに心から感謝を述べたい。

現地の科学者が研究に参加し、資源への貢献をする上で、多くの政府に援助をいただき、発展途上国や経済移行国からも専門家の参加に関わる援助をいただいた。さらに「世界土壌資源報告：要約報告書」はGSPの総会に参列した政府代表者によって、報告書に述べられた多くの潜在的有益性が価値あるものと好意的に受け止められた。今後改訂される報告書には、さらに包括的で十分な準備がなされることだろう。

本報告書は科学者、専門家以外の者、政策策定者を同様に対象としている。特に本報告書は、世界的また地域的レベルで、土壌機能と土壌の包括的な健康状態に関する定期的な評価報告の重要なベンチマークとなるであろう。これは国際社会がその達成を希求する「持続可能な開発目標(SDG: Sustainable Development Goals)」に特に関連が深い。実際に、これらの目標は、重要な自然資源(土壌もそのひとつであるが)が持続的に管理されてのみ達成される。

この第一版となる報告書の主とするメッセージは、楽観視できる根拠のある地域もいくらかあるが、世界の土壌資源の大部分は良くも悪くもないか、劣化しているか、あるいは著しく劣化している状態にあるということである。今日、33%もの土地が、侵食、塩類集積、圧密、酸性化および化学物質による汚染によって、ある程度から非常にという程度まで劣化している。これ以上、肥沃な土壌が失われれば、食料の生産と食料安全保障にも大きなダメージを与え、食料の値段の乱高下を増長し、何百万人という人々を飢餓と貧困へと追いやることが予想される。しかし、本報告書ではこれらの土壌資源、土壌機能の損失は防ぐことができる可能性を示唆している。科学的な知識と在来知および根拠に基づき証明された手法と技術を用いた持続可能な土壌管理は、栄養のある食料供給を増加させ、気候調整や生態系サービス保護に重要なレバーの役割を果たしうる。

私たちは本レポートの膨大な分析内容が、持続可能な土壌管理に向けて行われるあらゆるレベルでの活動を大いに活性化させること、改訂された世界土壌憲章に含まれる提言に沿うこと、そして持続可能な開発目標を達成するために確固たる貢献をすることを期待できる。

私たちは、この最初の世界土壌資源報告書が完成し国際社会で利用可能となったことを誇りに思うとともに、改めて、貧困、飢餓および栄養不良のない世界を作るという約束を表明する。

国際連合食糧農業機関(FAO) 事務局長  
ジョゼ・グラジアーノ・ダ・シルバ

## 土壌に関する政府間技術パネル（ITPS）からのキーメッセージ 「土壌は地球上の生命にとって、なくてはならないものである」

土壌に関する政府間技術パネル（ITPS）によって出版される、この最初の世界土壌資源報告書は、人類の幸福と土壌との本質的な関係を明らかにすることを目的としている。本報告書は、この必要不可欠な土壌という資源を保全するために我々が力を合わせて進めている取り組みに対し、それらを評価する基準（ベンチマーク）を提供するものである。

本報告書は60カ国から参加した約200人の土壌科学者による作業をまとめたものであり、土壌の現状、生態系サービス提供の役割、および今後の生態系サービス維持にとって何が脅威となるかについて、地球規模の観点から情報を提供する。本報告書で検討される脅威は、土壌侵食、圧密、酸性化、汚染、被覆、塩類集積、湛水、養分不均衡（養分不足および過剰）、土壌有機炭素の損失および生物多様性の減少である。

楽観視できる根拠のある地域もいくらかあるが、本報告書の抗しがたい結論は、世界の土壌資源の大部分は良くも悪くもないか、劣化しているか、あるいは著しく劣化している状態にあるということである。地球規模での土壌機能への最も深刻な脅威は、土壌侵食、土壌有機炭素の損失および養分不均衡である。現時点では、個人、民間セクター、政府および国際機関による協調した行動がとられない限り、その状況は悪化することと予測される。

総括すると、ITPSでは、以下の4つの活動を最優先と考える。

1. 持続可能な土壌管理により、我々の中で最も食料不足の人々に健全な食料の供給を増加することが出来る。特に、人々の生活が最も脆弱な地域において、それ以上の土壌劣化を最小限に止めるとともに、すでに劣化してしまった土壌の生産性を回復するべきである。
2. 地球規模での土壌有機物（土壌有機炭素および土壌生物）蓄積を安定化または増大させるべきである。各国は自国に適切な土壌有機炭素の改善管理方策を特定し、その実行を図るべきである。また、各国は、安定した、またはより蓄積側に向けた土壌有機炭素の収支を国レベルの目標値として挙げ、その達成に努めるべきである。
3. 人類は地球規模での窒素固定と地域的なリン使用の限界に限りなく近づいている説得力のある証拠が存在する。したがって、世界全体の窒素およびリン肥料の使用量を安定化または削減するために行動するべきである。同時に、養分が欠乏している地域では肥料使用量を増加する必要がある。植物による窒素およびリンの利用効率向上は、この目的達成のための重要な要件となる。
4. 本報告書における地域別の評価は、1980年代かそれ以前の観測に基づいた1990年代の研究成果を基にしているものも存在する。したがって、土壌の現状と変化傾向（トレンド）に対する知識は改訂されなければならない。まず必要なことは、上記の3つの優先課題に対する達成度を監視するシステムを改善することである。

ここで挙げた優先課題に取り組むために必要な社会的な対応は、複雑で多面的であると思われる。土壌管理方策の実行は通常は地域的に行われ、大きく異なった社会経済的背景のなかで適用される。地域の施策決定者が採用しうる具体策を考案するためには、多くの利害関係者による重層的で学際的なイニシアチブが必要である。

私たちは、国際土壌年である2015年に、この最初の「世界土壌資源報告書」を作成することが、世界全体で持続可能な土壌管理が適用されるという目標達成に対し、大きな原動力となることを願う。

## I はじめに

土壌は地球上の生命の基盤であるが、人間が土壌資源にかかる圧力は限界に達しようとしている。これ以上肥沃な土壌が失われれば、食料価格の乱高下を増幅し、何百万人の人を貧困へと追いやる潜在的な要因となる。こうした土壌の損失は避けることができる。注意深い土壌管理は食料供給を増大できるだけでなく、気候調節と生態系サービス保全のための価値ある「変速レバー」を提供することができる。

土壌資源の持続可能な管理の実現は、全ての地域社会と国に多大な益をもたらす。世界のある地域では経済繁栄へのカギとなり、また他の地域では短中期間の国家安全保障に重要な役割をもつ。問題の背景に係わらず、適正な証拠と根拠に基づく効果的な政策は、良い結果には欠かせないものである。

政策立案に際して土壌の問題を考慮する考え方は、いまだ世界の大部分において説得力がない。その理由には以下のものがある。

- 施策措置に必要な証拠と根拠の容易な入手方法がないこと
- しばしば個人が所有すると同時に、重要な公共財である自然資源に対する財産権にどう取り組むかの難しさ
- 土壌の変化が長期的な時間スケールで生ずること、すなわち、いくつかのたいへん重要な土壌変化は何十年もかけて起こり、それを検知することが困難なこと。その結果、地域住民や研究機関はその現象が危機的となり、修復不可能な閾値を超えるまで対応出来ないことがある。

おそらく、政策立案者にとってより重要なのは、都市化が進む我々の社会と土壌との関係が分断していることだろう。土壌に係わる労働者の比率は、前世紀の間、絶え間なく減少しており、その結果、土と直接触れ合う機会はその地域においても減少してきている。土壌はこの点で、我々のひとりひとりが常に安定して必要とする食料、エネルギー、水、空気とは全く異なる。しかし、総じて人間社会は、今後、これまで以上に、生物圏を維持するために土壌がもつ形のないサービスに依存するだけでなく、土壌からの生産物に依存する。

「世界土壌資源報告書」において、私たちが目的とするのは、こうした人類の幸福と土壌との本質的な関係を明

らかにすることである。そして、この必要不可欠な土壌という資源を保全するために我々が力を合わせて進めている取り組みに対し、それらを評価可能とする基準（ベンチマーク）を提供することである。

この「要約報告書」は、「全体報告書（メインレポート）」に記載された主な知見をとりまとめたものであり、本文中に「全体報告書」の該当箇所が引用されている。読みやすさのため、「全体報告書」の文章がそのまま引用されているとは限らない。また、単なる要約ではなく、政策立案者に必要な世界の現状および国また大陸・地域レベルで持続的かつ効果的な政策対応を策定するための基盤を提供することを目的としたものである。

持続可能な土壌管理は、本報告書の基本概念である。本報告書を通して用いられる持続可能な土壌管理の定義は、「2015年版世界土壌憲章」から直接引用した以下の定義である：

土壌が提供する基盤サービス、供給サービス、調節サービスおよび文化的サービスが、これらのサービスを可能とする土壌機能や生物多様性を甚だしく阻害すること無しに、維持されるか、または強化される場合、土壌管理は持続的である。

本報告書は、土壌の機能に対する10の脅威に焦点をあてる：すなわち、土壌侵食、土壌有機炭素の損失、養分不均衡、土壌酸性化、土壌汚染、湛水、土壌圧密、土壌被覆、塩類集積、および土壌生物多様性の減少である。

養分不均衡は、化学肥料、堆肥、またはその他の資材による養分の投入が、a) 作物の生産性をもたらすのに不十分な状態、あるいは、b) 作物として収穫される以上に養分が過剰な状態、でおきる。養分不足は食料危機の原因となる。養分過剰は水質悪化や、一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)など農業起源の温室効果ガス放出の原因となる。

土壌酸性化は、土壌中で水素イオンやアルミニウムイオンが蓄積し、その結果、カルシウム、マグネシウム、カリウムおよびナトリウムなどの塩基性陽イオンが溶脱や生産物の除去により減少することで土壌のpHが低下することである。

土壌生物多様性の減少は、土壌に生息する微生物やマクロ生物の多様性が減少することである。

土壌圧密は、土壌の表面に圧力がかかり続けることにより、土壌の密度が増加し、粗大孔げき率が減少することである。土壌圧密は作土と下層土の両方の機能を低下させ、根の伸張や水とガスの交換を妨げる。

土壌汚染は、あらゆる生物や土壌機能に重大な悪影響を与える化学物質や素材を土壌に付加することである。汚染は、化学物質や素材が系外へ流出したり、土壌において通常を上回る高い濃度で検出されることにより特定される。

土壌侵食は、水、風または耕起により、地表面から土壌が除去されることである。水食は、主に水滴衝撃や流出により分離された土壌粒子を地表流が運ぶことで生じ、しばしばリルやガリといった明瞭な形態の溝を形成する。風食は、乾燥した、膨軟で、裸地状態の土壌が強風にさらされ、土壌粒子が土壌表面からはがされて他の場所へ運ばれることで生じる。耕起による侵食は、耕されることにより土壌が傾斜に沿って直接下方へ移動することで、圃場内での土壌の再分配を引き起こす。侵食は自然のプロセスだが、その速度は、一般に、人間活動によって大きく増加(促進)される。

土壌有機炭素(SOC)の損失は、土壌中に蓄えられた有機炭素が失われることである。その際、土壌炭素は、主に、温室効果ガスである二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)やメタン(CH<sub>4</sub>)に変換されるが、侵食による土壌からの炭素の物理的な損失もその要因となる。

土壌塩類集積は、土壌中に塩類が蓄積することである。蓄積する塩類には、ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウム、塩化物、硫酸塩、炭酸塩、重炭酸塩が含まれる。1次(自然)塩類集積は自然のプロセスとして、高い濃度の塩を含む母材、地下水、あるいは降雨に含まれる塩の長期間の蓄積により起こる。2次(人為的)塩類集積は人間の介在により生じ、塩を多く含む水を使った灌漑や不十分な排水などの不適切な灌漑管理が原因となる。本報告書では、人為的に発生する塩類集積のみ、土壌機能に対する脅威として取り扱う。ナトリウム化も塩類集積に関係する現象で、土壌の固相や液相にナトリウムイオンやナトリウム塩が集積することである。ソーダ化の結果、全交換性塩基のうちの交換性ナトリウムの割合が高まる。

土壌被覆は、一定面積の土地とその土壌を、アスファルトやコンクリートなどの不透性の人工物によって永続的に覆うことである。たとえば、ビルや道路の建設がそうである。居住地などの土地利用の増加は土地転用(ランドテイク)とも呼ばれ、農村地域の散在する土地開発、都市周辺への市街地の拡大および都市域内での土地利用の変化(高密度化)が例としてあげられる。また、道路、高速道路および鉄道などの輸送インフラの拡張もそのひとつである。

土壌湛水は、土壌水分量が著しく高まり、植物の根が適切に呼吸できるための孔隙内の酸素が不足する状態である。同時に、二酸化炭素やエチレンなど、根の成長に有害な影響を及ぼす他のガスが根域に蓄積されることから植物への影響が生じる。多くの土壌は自然に湛水状態になる場合があるが、土壌にとって脅威となるのは、それまで好気の状態(孔隙中に適切な濃度の酸素が存在する状態)であった土壌が湛水状態に変わった場合である。

本要約報告書の目的から、水質調節や養分循環といった個々の生態系サービスは、より大きな課題の中に組み込んで取り扱われる。このことから、土壌と人類が直面するより大きな課題との関係性をより明確にできる。

本要約報告書では、土壌変化の主な要因に関する簡潔な概要に引き続き、食料安全保障、気候変動、水資源、人間の健康および生物多様性の保全の問題をとりあげてゆく。これらの各節では、土壌の状態がどのように変化しているかをまとめるため、全体報告書の地域別評価の内容を引用する。各地域別評価の要約を第8節で示し、その次に土壌管理を向上させるための政策方針についてまとめる。

地域別評価の要約は、ITPSメンバーと各地域を代表する他の土壌科学者らによって作成され、各地域における土壌に対する脅威の現状とその変化傾向をまとめている。

最後に、「世界土壌憲章」に明示された持続可能な土壌管理の適応を実現するために必要な、様々な行為者による行動をとりまとめて提示する。

## II 地球規模の土壌変化を引き起こす要因

地球規模における土壌変化の主な要因は、人口増加と経済成長である。経済成長は、やがては、資源消費や廃棄物発生の増加と無関係になるかもしれない。しかし、少なくともこの先数十年の期間においては、経済成長は土壌変化の主な要因であり続けるであろう。教育、文化的価値観、内戦、市場の効率および土地使用者の経済状況などの土壌変化に関係する重要な要因についてが全体報告書の中で議論されている。

20世紀には、異常なまでの人口増加と経済成長、そしてこれらに付随した農業革命が起こった。1961年から2000年にかけて、世界人口は98%増加したのに対し食料生産は146%増加し、一人当たりの食料生産は24%の増加を示した。作物収量は2倍以上に増加した一方で、

驚くべきことに耕地面積の増加は8%に留まった。一人当たりの耕地面積は、0.45 haから0.25 haへと大きく減少した。この期間の以上の変化を理解するうえで重要なことは、農業投入資材の劇的な増加と作物育種の発展であった。窒素およびリン肥料の使用量は、それぞれ7倍および3倍に増加し、灌漑水の使用量は2倍に増加した。

世界人口は2013年に72億人を越え、2025年までにはさらに10億人が増えると予測されている。そして、2050年には96億人、2100年には109億人になると考えられている。これらの人口増加の大半は、低所得国で起こるだろう。これらの国の多くには（たとえば、西アフリカ）、低肥沃な土壤が広がり、農業生産性は低い。

これらの人口増加予測および食生活の変化を基に世界の食料需要を推定すると、2050年には2010年と比較して40%~70%の食料生産増加が必要であることが分かる。

しかし、農業資材の投入量を増加させて食料生産性を上げるという従来の戦略には問題がある。なぜなら、温室効果ガスの排出、資源の枯渇および安価な水資源の減少などが起こるからである。

また、世界人口に占める都市住民の割合が増加してきている。その結果、拡大した都市域が良好な農地へ侵入している。土壤被覆（土壤表面をアスファルトなどの透過性を持たない人工物で永久的に覆うこと。都市開発やインフラ工事に伴うことが多い）は、地球規模で深刻な問題となっている。国連によると、2014年における世界人口の54%が都市部に居住している。さらにこの傾向は続くと予想されており、2050年には世界人口の66%が都市住民になると推定されている。

気候変動は、現在および今後予想される土地利用の変化を介して、さらに大きな土壤変化の要因となる。気候変動が土壤機能に及ぼす影響は、土壤が関係する生態系サービスの将来予測をする上で最も大きな不確定要素である。気候変動は、土壤資源に対して大きな影響を与えるだろう。たとえば、降水量や降水パターンの変化および蒸発を加速させる高温により水の利用可能性が変化すると、その影響によって実際の蒸発量、地下水に移行する水量および流去水の発生状況が地域の条件に応じて変化する。温暖化による土壤温度や水分状況の変化によって、土壤有機炭素の分解速度が増加するかもしれない。土壤侵食や砂漠化リスクの増加が気候変動を増幅するというフィードバックが起こる可能性もある。気候変動に伴う海水面の上昇は、土壤侵食を進め、海岸線を内陸へと移動させるだろう。沿岸地帯の低地で砂防対策が十分

になされていない場所では、高潮により塩水が現在よりもさらに内陸部まで入り込む傾向があるため、永続的または季節的な塩類集積土壤の面積が広がるだろう。

### Ⅲ 土壤と食料安全保障

環境への悪影響を最小限にとどめながら食料供給の増加を目指すための土壤に関する戦略については、多くの人の意見が一致する。

第一の戦略は、土壤劣化による生産性の低下を防ぐことであり、また、過去において生産性が低下してしまった土壤の生産性を回復することである。土壤劣化に伴う将来の生産性の低下を抑制するために、現時点で作物生産に使用されている土地を維持し、不適切な土地利用変化を防ぐことが不可欠である。

多くの劣化した景観において、土壤機能や生態系サービスを改善するための最大の障害は養分や有機物の投入が行われないことである。土壤への資材投入が可能であっても、一度劣化してしまった土壤の生産性を復元することが困難な場合がある。なぜなら、肥沃度の向上を目的とする管理技術がすぐに成果を出せない状態まで、土壤が劣化されている場合があるからである。

第二の戦略は、収量ギャップを埋め合わせるという多に期待ができるものである。収量ギャップとは、ある土地における、実際の収量と最適農法や最適技術の適応により得られるポテンシャル収量の差を意味する。こうした収量ギャップは養分不足が主な原因であり、中央アメリカ、西アフリカと東アフリカの多くおよび東ヨーロッパでもっとも大きい。養分不足の土地は、インドの北部、中国全体で部分的に散在する。一方で、この二つの国には養分過剰となっている広大な地域もある。

第三の戦略は、土壤炭素貯留や生物多様性プールの維持・増大を可能とするような土壤の利用や管理を推進することである。そのために、ひとつには、全ての地域において持続可能な農業と土地管理を促進することが必要である。また、生物多様性への悪影響や炭素放出を生じる、影響を受けやすい生態系への農地拡大（たとえば、森林や植林地の開墾、牧草地から耕作地への転換、または湿地からの排水）を止めることも必要である。同様に、農業生産性の高い土壤を被覆することは抑制されなければならない。

第四の戦略は、灌漑、肥料および農業などの農業投入の利用効率を高めることである。この戦略は、食料供給の直接的な増加というよりも、むしろ、多投入型農業シ

システムによる環境および人間の健康への影響を軽減させるものである。同時に、生産者への経済的な便益を増加させるものである。本報告書で検証されている主要な土壌への脅威の多くは食料供給と密接な関係があるが、この問題については第3節の後半で簡潔にまとめられている。

### 土壌侵食

土壌侵食と食料生産性の関係に関するメタ解析（訳者注：複数の研究結果の総合的な分析）を総合すると、地球全体の年間の作物生産の0.3%（中央値）が侵食の発生により失われていることが示唆される。もし、この減少率が今後も変わらず続くとすれば、2050年までに失われる生産量の合計は10%に上ると見込まれる。この侵食による生産量の減少は、1.5億haの農地の減少（1年あたり450万haの減少）に相当する（これはおよそ5秒ごとにサッカーフィールド一面が失われるのと同程度である）。

概して、地域が異なると土壌侵食の現状とその変化傾向（トレンド）に大きな違いが見られる。ヨーロッパ、北アメリカおよび南西太平洋の一部では、おおむね改善傾向が示されているが、これらの地域では過去何十年もの間、耕作地の拡大による深刻な土壌侵食を経験している。サハラ以南のアフリカには、侵食に関して様々な変化傾向がある一方で、アジア、ラテンアメリカやカリブ海地域および近東や北アフリカでは、侵食の現状は劣悪か著しく劣悪であり、しかも悪化傾向にある。このうち、近東および北アフリカでは、風食が著しく劣悪な現状と悪化傾向をもたらす主な要因となっている。

土壌侵食の速度が、今なおかなり高い状態である農地と放牧地が広く分布している一方で、ここ数十年の間に大きく改善された地域がいくつもある。最もよく立証された例は、米国の農地における侵食速度の減少であり、1982～2007年の間に、農地における平均水食速度は10.8t/ha/年から7.4t/ha/年に減少したことが報告されている。また、同じ期間に風食の速度は8.9t/ha/年から6.2t/ha/年に減少している。立証の程度は米国の例に劣るが、中南米の多くの地域のように、省耕栽培が行われている地域ではどこでも土壌侵食が大幅に減少している。

### 養分不均衡

一部の地域にみられる低肥沃土壌と作物への養分供給不足が、収量ギャップの主な要因となっている。前述の

ように、いくつかの最近の研究事例や本報告書で作成された地域評価の結果から、この収量ギャップが最も顕著なのは、中南米、アフリカ東部や西部の多くおよび東ヨーロッパであることが示されている。

土壌養分バランスは、土壌における養分の投入量と持ち出し量、そして養分貯留量の変化を通して評価することができる。土壌養分収支が負であるとき、土壌から養分収奪が生じていることを示す。2010年に実施されたアフリカにおける57事例を対象としたメタ解析研究から、窒素収支はほとんどの事例で負であり、リン収支は全体の56%の事例で負であったことが明らかにされている。アジアでは、窒素収支およびリン収支ともに、大きく正（余剰）であるという報告もあれば、大きく負であるという報告もある。

収量ギャップの最も大きい地域において、作物残渣あるいは堆肥のような有機物の投入をせずに、化学肥料のみで食料を著しく増産することはできないということが多くの研究で強調されている。全ての食料生産地域において、農業投入資材の利用効率を改善させない限り、土壌の養分不足を化学肥料のみで解消しようとするのは、環境分野においても問題を引き起こすこととなる（たとえば、窒素肥料による一酸化二窒素（ $N_2O$ ）の放出および地上や地下水の汚染など）。

最近の分析では、地球規模で生じている農業システムへの過剰な窒素の年間投入は重大な環境問題を引き起こすことが示されている。また、いくつかの主要な農業地域におけるリン投入は、安全な境界を越えていることも示されている。これらの地域では肥料利用効率の改善が必須であり、それにより農業資材投入量の大きな削減につながるであろう。対照的に、深刻な養分不足と大きな収量ギャップをかかえる地域では、肥料の投入量を増加するとともに、肥料の利用効率性にも目を向けるべきである。この取り組みは、自給農家が痩せた土壌を肥沃にするための肥料を購入することができない低所得国にとって、特に困難な課題である。

### 土壌炭素と生物多様性の損失

土壌有機炭素および土壌の生物多様性は食料安全保障に関する3つの側面に関連する。すなわち、入手可能な食料の増加、劣化した土壌の生産性の回復および食料生産システムの復元力（レジリエンス）である。

食料生産の増加における土壌有機炭素と土壌の生物多様性の役割には、きわめて強い結びつきがある。土壌有機炭素と生物多様性が増加することは、作物生産にとっ

て通常は有益なことであり、それらがどちらも減少することは作物にとっては悪影響となる。しかし、これらの関係性を定性的に評価したり、予測することはこれまで難しかった。なぜなら、作物の成長はさまざまな要因の相互作用によって変わるからである。

熱帯および亜熱帯の土地で行われた研究により、劣化土壤の肥沃度回復には、土壤への作物残渣や堆肥の還元による有機物の投入が必須であることが明らかにされた。同時に、作物残渣の低い生産性と作物残渣および堆肥の他の用途との競合が、土壤有機炭素を増加させるための有機物投入の障害となっていることも明らかにされた。強度に風化され、自然肥沃度が低い土壤の炭素貯留量を、外部からの養分投入なしで増加させることはたいへん難しい。

土壤有機炭素の増加と土壤生物多様性の維持の最終的な役割は、食料生産のための土壤の復元力（レジリエンス）を高めることであり、特に、人間活動が原因の気候変動による攪乱に対する緩衝能力を強化することである。土壤有機炭素は、(i) 植物への水供給の調整、(ii) 流出低減による侵食の減少、(iii) 養分の保持・供給サイトの提供により、極端な気候が土壤と作物に及ぼす影響を緩和する。

#### 土地転用（ランドテイク）と土壤被覆

土地転用は、多くの国で農地が優先的にその対象とされることから、食料安全保障に影響を及ぼす。たとえば、1990年から2000年までの間に欧州連合で生じた土地転用の70.8%が農地からである。この割合は、2000年から2006年までの間では53.5%にまで改善した。これらの全期間の土地転用により、600万トンを超えるコムギ収穫量の損失が生じたことと見積もられたが（全体報告書、p.170参照）、この量は潜在的生産能力の1%に相当する損失に相当する。この損失は取るに足りないものに思えるかもしれないが、他の地域でも同様の損失があると想定し、地球規模での影響を考えると、2050年までに食料を70パーセント増加させるという課題の実現を非常に困難なものにする。

ヨーロッパおよびユーラシア大陸では、土地転用と土壤被覆が土壤機能への最大の脅威と捉えられている。他の地域においても、人口増加による都市化が加速しているため、土地転用と土壤被覆による土壤劣化が進行している。2009年の分析では、2000年の地球上の都市部の面積は65.7万 km<sup>2</sup>であり、地球表面の0.45%に相当することが示された。現在の都市化のスピードから考える

と、土壤被覆による損失は20年後には2倍に、発展途上国においては2030年までには3倍にも上るかもしれない。今ならまだ、土壤機能を維持し、環境と人類の幸福への悪影響を軽減するための適切な対策をとることが可能である。

#### 土壤の酸性化、汚染および塩類集積

これらの3つの脅威は、すべて、土壤の化学性の変化をもたらすが、ひとたびある閾値を超えると作物生産量が激減する可能性がある。

降水量が蒸発散量を上回る排水性の良い地域では、土壤層から塩基性陽イオンの溶脱が起こることから、自然に酸性化した土壤が一般的である。人為的な農地土壤の酸性化は、主として、生産物の除去、あるいは窒素（N）と硫黄（S）投入量の増加（マメ科牧草地、肥料投入および大気沈着など）と関係している。風化可能な鉱物の含有量が低い場合（年代が古く強い風化を受けた土壤および石英が豊富な母材から発達した土壤など）、その土壤は、一般的にpH緩衝能が低い。酸性化は、オーストラリア、南アメリカ、東南アジアおよびサハラ以南のアフリカなどの国々や地域において、重大な脅威である。

土壤汚染の原因は広範囲にわたる。ヨーロッパ、北アメリカおよび南西太平洋の一部のような成熟した産業界と充実した規制体制をもつ地域では、過去に汚染された場所の特定と修復が主な課題である。急激に工業化している国々では、新たに深刻な汚染を経験し続ける。たとえば中国では、国家環境保護局の報告によると、農地の19.4%がカドミウム、ニッケルおよびヒ素によって汚染されていると見積もられている。

汚染の経路として、大気沈着、除草剤や殺虫剤の施用および肥料や廃棄物中の重金属が考えられる。汚染については、本要約報告書のVI節でより詳細に考察される。

塩類集積は、（第一段階として）自然による、そして（第二段階として）人為によるプロセスの結果である。問題の広がりや重大性にもかかわらず、塩類集積の影響を受けた土壤の範囲を地球規模で示す正確で新しい統計値はない。塩類化は作物生産量を減少させ、閾値に達すると作物生産が完全に不可能となる。

人為的な塩類集積の最大の原因は、誤った設計による広域的な灌漑計画である。すでに、農地への灌漑は地下水および地表水の約70%を取水しており、いくつかの地域においては、水資源に対する競合により、灌漑利用者に持続不可能なレベルまで水を搾取することを強いている。地表水や地下水の灌漑水としての持出しは、自然の

水循環を破壊するとともに、下流の生態系や地域社会にストレスを与える場合もある。灌漑システムにおける水利用効率の改善は、系内での損失（たとえば、供給システムでの漏れ）や土壌あるいは施設そのものからの蒸発を抑制するなどの管理によって可能となる。下層土に多量の塩を含む乾燥地域においては、灌漑は土壌の塩類集積を増加させる可能性を持つ。塩類集積が起こった場所では、作物根圏よりも下方に塩類を移動させるために更なる灌漑水が必要となり、このことは、特に地下水を使う場合には、水ストレスを更に激化させることになる。

持続可能なシステムを構築するための技術的な挑戦とともに、灌漑用の水資源不足の深刻化は旧来の灌漑計画の拡大に制約を課すこととなる。しかし、アフリカでは、毎年補充される地表付近の地下水に依存する局所的規模での分散型灌漑システムの開発に、大きな潜在的可能性が認められている。

#### 土壌の圧密と湛水

これらの脅威の両方とも、植物根の生育に問題を生じ、その結果収量が減少する。湛水に伴う酸素欠乏状態は、ヒ素のような汚染物質の土壌中での移動を可能とするなど、土壌中の有毒元素の可動性の変化に伴うさまざまな環境問題をも引き起こす。

本報告書における地域別評価では、圧密がアジア、ラテンアメリカおよびカリブ海、そして近東および北アフリカ地域において一般的に認められ、かつ悪化傾向であることが示されている。一方、残りの4地域においては、まずまずの、あるいは良い状態であることが示されている。アジアおよびラテンアメリカおよびカリブ海地域では、過放牧や機械化農業の普及が、主要な要因として挙げられている。

一方、どの地域においても、慢性的な湛水状態は主な脅威とは捉えられていない。しかし、同様の状態をもたらすが別の問題として扱われるべきである洪水については、いくつかの地域で主要な問題となっている。

#### 持続可能な土壌管理

食料安全保障を強化するために必要な持続可能な土壌管理の原則は、大部分が、十分に理解されている。ある特定の管理を実施することにより、多くの土壌への脅威に対して同時に対処可能である。土壌に最も適切な管理として、以下の例が挙げられる：

1) 窒素固定作物を含む輪作、有機・無機肥料の賢明な

- 利用および強酸性のような特定の土壌化学的条件に対応するための石灰など目的を絞った改良資材など、バランスの取れた対策による植物栄養の増進
- 2) 保全耕や不耕起栽培を適用して機械的な耕起を避けることによる土壌攪乱の最小化
  - 3) 被覆植物や作物残渣を利用した土壌表面の有機物による保全的被覆の増進と維持

これらの管理は相互に強く関係しており、長期的に見れば、いずれも、風、水や耕起による土壌侵食、土壌有機炭素の損失（この結果、土壌から大気へのCO<sub>2</sub>の放出が低減される）および土壌の圧密や物理的劣化といった本報告書で特定される土壌の脅威を最小化するであろう。こうした対策は、また、土壌からの生物多様性の損失を抑制すると思われる。窒素肥料の賢明な使用も、可能な範囲ではあるが、土壌からのN<sub>2</sub>O発生を最小化するであろう。これらの脅威が減少することにより、土壌によりもたらされる生態系サービス（基盤サービス）が改善するだろうし、その結果、基盤サービスに依存する調整、供給および文化的サービスも改善するだろう。

## IV 土壌と水

一年間に土壌に侵入、透過、流出する淡水の量は実に膨大である。陸地への年間の総降水量は116,500 ± 5,100 km<sup>3</sup>/年と推定されるが、これは北米五大湖の貯水量のほぼ5倍に相当する量である。このうちの60% (70,600 ± 5,000 km<sup>3</sup>/年)が蒸発散により大気中へ戻る。残りの40% (45,900 ± 4,400 km<sup>3</sup>/年)が流去水として陸地から流亡するが、そのほとんどが土壌表面の流去、あるいは土層内を通過した後に地下水系を通じて河川に戻る経路のどちらかをたどる。

#### 水食、地表水質の調節および水系の健康

土壌に浸透できずに土壌表面を流去する水は、土壌の水食や汚染物質を含む溶存土壌成分を輸送する。

地表から侵食されて表流水に達する土壌は、水質に対して大きな負の影響を与える。世界的にみると、水による土壌侵食は農地から0.23–0.42億tの窒素と0.15–0.26億tのリンを持ち出していると推定される。これらのフラックスは、年間の施肥量（窒素でおよそ1.2億t、リンで0.18億t）と同程度である。こうした養分の流出は、窒素で330–600億米ドル、リンで770–1400億米ドルという、莫大な経済的負担を伴う施肥により補填す

る必要がある。農地から失われ表流水に達する土砂や養分の割合は、流域の特性に応じて大きく変動するものの、多くの地域では広範囲に富栄養化を引き起こすのに十分なほど多量である。影響を受ける水系は、農地景観内の小さな湿地から、沿岸域の大規模な貧酸素水域および死水域（訳者注：水の流れのない場所）にまでに及ぶ。

水食の結果として生じる養分輸送によって、水域に対する大きな負の環境影響が生じるのは、農業で過剰な養分施用と高強度の水食が同時に起こる地域である。本報告書における土壌への脅威に対する地域別評価によれば、この高侵食・高余剰な養分不均衡の一致が見られるのは、米国の中西部地域北部とミシシッピ渓谷地域、カナダのオンタリオ南部、北欧の一部地域、北部インドの広い範囲および中国のいくつかの地域である。北米とアジアに対するこの地域別評価では、養分不均衡の状態は悪く、今後も悪化傾向にあり、このことは、状況の重大さとともに、土壌と養分の管理を改善する必要性を示している。

農地で侵食された土壌は、湖沼や貯水池の堆砂の原因ともなり、これらの設備の稼働寿命を短くする。しかし、現在生じている土壌侵食と氾濫原や貯水池での堆砂の関係は、多くの場合、そう単純ではない。すなわち、土砂は農地以外の発生源（自然の侵食、崖崩れ）からも供給され、大きな河川系でのこうした土砂の滞留時間は数千年にも及ぶため、大きな氾濫原での土砂や養分の沈降堆積は実際の農地土壌の侵食とは直接に結びつけられない。

#### 汚染物質の濾過、形態変化および地下水質

土壌は、土壌水から汚染物質を除去する大きな能力を持っている。この能力は、電荷をもつ金属や有機化合物に対して特に顕著である。汚染物質が地下水に到達するのを防ぐしくみの一つは、地表層において土壌が汚染物質を強く吸着することによる。この吸着は、有機物や粘土のように、大きな表面積と高密度の表面電荷をもつ土壌で大きい。土壌中で、微生物が汚染物質を無毒な形態へ変換していることについても十分な証拠がある。汚染物質の吸着には土壌表面との接触と土壌中での滞留時間が重要な制御要因となることから、土壌による濾過機能には土壌中の水分含量と水移動速度が重要となる。

#### 水量の調節と洪水

土壌の浸透性と貯水容量は、緩衝作用として機能する

景観能力に大きな影響を持つ。土壌が大雨の間に降水を吸収できれば、河川のピーク流量や洪水は少なくなる。同様に、土壌が水を蓄え、乾季の間保持できる場合、植物は短期間の降雨不足にも耐えられる。

ずさんな土壌および土地管理が降雨－流出の関係性及び影響は広く知られており、ピーク流量を増加し、洪水による被害を増大する要因となっている。しかし、洪水を制御するための土壌管理にかかる費用やその便益に対する信頼できる評価は、地域的にも、地球規模でも行われていない。土壌被覆（不浸透性の物質で土壌表面が覆われること）も流出量を大きく増加させるが、特に、土壌被覆面積率の高い景観にとっては脅威となる（たとえば、ヨーロッパおよびユーラシア地域）。

洪水を予測するシステムには、流域全体における土壌水分量の信頼できる推定値が必要である。さらに、こうした数時間単位から数日単位で運用される緊急予測システムを改善するためには、より正確な土地管理の変化と土壌の状態の情報が必要となる。より長期的タイムスケール（数週間から数カ月）での土壌水分収支の予測は、営農のための季節予報にも用いられている。特に、土壌水分の年々変動が大きく、天候が営農の意思決定（作物品種や施肥量の選択）に強く影響を及ぼすような行政地区において用いられている。このような予測システムの有効性を向上することが、農業上の施肥効率や水利用率を上げるために重要だろう。

## V 土壌と気候調節

土壌は、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）、一酸化二窒素（N<sub>2</sub>O）、メタン（CH<sub>4</sub>）の発生を制御することにより、地球の気候プロセスに大きな役割を果たしている。これらのガス発生を制御する特定の土壌の機能は複雑であり、水の供給制御や養分循環などの生態系プロセスと相互に影響を与える関係にある。

#### 土壌有機炭素の損失

地球規模において、土壌は陸域の主要な炭素貯留庫であるため、大気中CO<sub>2</sub>濃度に大きな影響を与えている。地球全体の土壌有機炭素の推定量は、何十年も前から報告されている。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）では、土壌表層1 m中の有機炭素量として、1.502兆 tの推定値を採用している。調和的世界土壌データベース（HWSD）から求められた最新の推定では、全球での土壌有機炭素量は、表層1 mで1.417兆 t、表層30 cmで0.716兆 t

と提案されている。

地球全体として捉えた場合、土壌有機炭素の損失の主な要因は土地利用変化である。2014年に行われた119報の文献のメタ解析によれば、98%の調査地において土壌有機炭素貯留量の減少が見られた。土地利用変化の前と比べた土壌炭素の減少は、温帯地域で52%、熱帯地域で41%、寒帯地域で31%であった。2002年に行われた温帯および熱帯地域の土壌有機炭素貯留量を調べた74報を対象としたメタ解析からは、牧草地から植林地（プランテーション）への土地利用変化によって10%の減少、自然林から植林地への変換によって13%の減少、自然林から畑地への転換により42%の減少、牧草地から畑地への転換によって59%の減少の起こったことが示された。一方、土壌炭素貯留量は、自然林から牧草地への転換で8%の増加、畑地から牧草地で19%の増加、畑地から植林地で18%の増加、畑地から二次林への転換で53%の増加が見られた。土地利用変化による土壌炭素量の相対的な変化は下層土壌においても同様であった。地球全体における1850年以降の土壌有機炭素の損失は、 $0.66 \pm 0.12$  兆tと推定されている。

土壌有機炭素の変化の大きさや速度を決定する要因は、土壌自体に内在する特性と土壌管理の両方に依存する。土壌有機炭素の減少速度は、温帯に比べ熱帯の気候条件下において高い。また、この減少速度は、粘土質土壌よりも砂質土壌で高い。すべての地域において、湿地の排水、土壌の耕起、植物体（バイオマス）の野焼きや持ち出しといった人為活動が、土壌有機炭素の損失を加速させている。

土壌への脅威の地域別評価（本要約報告書の第Ⅸ節）では、アフリカ地域およびラテンアメリカとカリブ海地域における貧弱な土壌有機炭素の状況を引き起こした主な原因として、森林や牧草地を農地化する継続した圧力が挙げられている。熱帯域における農地の拡大が開墾から生じるCO<sub>2</sub>の大部分を占めており、最近のいくつかの研究では、この農地拡大を止めることがCO<sub>2</sub>排出削減のために必須の解決策であると結論づけている。

ヨーロッパにおいては、場所にもよるが、反対のことが言える。すなわち、東ヨーロッパでは農地の耕作放棄によって、土壌有機炭素は増加した。しかし、この増加分の土壌炭素は、もし再び農耕が開始されれば、すぐにCO<sub>2</sub>となって排出されうる。泥炭地はどのようなタイプのものであれ、農耕や植林のために排水すれば、顕著に土壌炭素が失われる。このことは、アジアやヨーロッパなどのいくつかの地域で問題となっている。

農地管理は、土壌有機炭素の変化を引き起こす第二に重要な要因である。アフリカ、アジアおよび南西太平洋の一部の地域の評価では、土地の休閑期間の減少や土壌への有機物供給の減少が、貧弱な土壌有機炭素状況を引き起こした主要な原因と考えられた。より肥沃度の低いアフリカの土壌では、零細的で収奪的な農業によって得られる収穫量は限られており、そのため植物残渣の生産量も少ない。これらの地域では、土壌に施用する有機物が少ないこと、植物残渣の競合および有機物の分解が早い気候条件という因子が重なるため、もともと肥沃度の低い土壌の有機炭素貯留量は低く維持される。

土壌有機炭素量は地球規模の気候変動に影響を及ぼすと同時に、地球の温度や降水パターンの変化に反応する。温暖化が土壌有機物の分解に及ぼす影響は、複雑で相互に作用し合う複数の要因に支配されているため、それを予測することは大きな挑戦である。この問題は、陸域炭素の主要な貯蔵庫である有機質土壌およびツンドラ土壌において難題である。IPCC第5次評価報告書では、温暖化による永久凍土の減少が現在凍っている炭素を融解する原因となる高い確証性がある一方で、この融解が引き起こす大気へのCO<sub>2</sub>やメタンの発生の程度についての確証性は低いと述べられている。

#### 土壌からのメタン発生

有機物の分解が嫌気的な（酸素が不足した）土壌の層位で起こる場合、メタン生成作用を通して土壌からメタン（CH<sub>4</sub>）が発生する。湛水した土壌、特に湿地、泥炭地、水田がCH<sub>4</sub>の最大の発生源となっている。水田からのCH<sub>4</sub>発生量は、1961年には二酸化炭素換算値（CO<sub>2</sub> eq.）として3.66億t/年であったものが、2010年では4.99億t/年に増加した。全球での湿地からのCH<sub>4</sub>発生量は1.45億t/年と推定されているが、そのうち自然湿地から0.92億t/年、水田から0.53億t/年が発生しているの見積もられている。

CH<sub>4</sub>削減のための多くの緩和策が、CH<sub>4</sub>排出の原因となる主要な土壌の利用形態である水田で開発されてきた。これらには、水稲耕作期間中の1回または数回の排水、根からの滲出物の少ない稲品種の選抜、非栽培期間中の水管理、施肥管理、有機性残渣施用の時期や堆肥化、がある。管理された泥炭地や湿地（すなわち、林地や農地として使う場合）では、CH<sub>4</sub>発生は施肥、水や耕起の管理によって削減可能である。湿地機能を復元したり、炭素貯留を維持するために、排水または耕起された泥炭地を再湿潤することは、CH<sub>4</sub>発生の増加につながる

かもしれない。

対照的に、好気的な土壌はCH<sub>4</sub>の吸収源として機能する傾向が強く、気候変動の調節に寄与している。温帯および熱帯の好気的な土壌が大気中CH<sub>4</sub>を酸化する速度は低いものの、これらの土壌は広域に分布しているため、大気中CH<sub>4</sub>の約10%を吸収していると推定されている。

#### 土壌からの一酸化二窒素発生

作物が必要とする量を超えた窒素肥料の土壌への供給は、強力な温室効果ガスである一酸化二窒素 (N<sub>2</sub>O) の発生量増加を引き起こす。1990年代に地球全体で約0.16億t N<sub>2</sub>O-N/年排出されたN<sub>2</sub>Oのうち、40%~50%が人間活動によるものであった。農地土壌はその主要な発生源であり、1990年代の人為起源のN<sub>2</sub>O発生量の80%以上を占めている。農地からのN<sub>2</sub>O発生量は、2010年の0.04億t N<sub>2</sub>O-N/年強から、2030年には0.05億t N<sub>2</sub>O-N/年を越えると予想されている。単位質量あたりの温室効果の強さを考慮すると、N<sub>2</sub>Oの効果はCO<sub>2</sub>の約300倍に相当することから、N<sub>2</sub>O発生量の増加は地球規模においてたいへん重要な意味をもつ。カナダやアメリカ合衆国のような、地域によっては作物の必要量を超えた窒素肥料を施肥する先進国では、農業が全温室効果ガス排出の6%~7%を占めており、農地土壌からのN<sub>2</sub>Oの排出は農業セクターからの温室効果ガス排出全体の65~75%を占める。同様の窒素過剰は、西ヨーロッパ、中国およびインド北部でも非常に高い状況である。きわめて高いN<sub>2</sub>O発生は脱窒過程の1ステップとして嫌気的な環境で起こるため、農業景觀における湛水状態の変化と密接に関係する。

## Ⅵ 土壌と人間の健康

土壌を原因とした人間（および動物）の健康問題は、いくつかの経路を介して起こりえる。すなわち、1) 有害な微量元素や有機汚染物質、または病原生物が土壌から食物連鎖に入りうること、2) 病原生物との直接的接触、3) 土壌からの栄養不足の作物生産による栄養失調、4) 粉塵への直接的暴露である。

#### 土壌汚染

土壌中の微量元素（重金属とも呼ばれる）や有機汚染物質への暴露（有害な物質を体内に取り込むこと）にともなう健康影響は、多くの国において、大きな社会的な関心事である。微量元素の土壌への付加量の増加は世界

的に大きな問題となっているが、特に中国やインドのように急速な発展を遂げている国々では、汚染物質に対する規制、管理や削減努力が環境への放出に追いつくことが困難な状況である。しかし、先進国も微量元素が土壌機能に及ぼす脅威から逃れてはいない。長年に及ぶ土壌への有害廃棄物の投棄や金属の蓄積が、汚染地の利用や修復を困難にしている。

地下水のヒ素：人間の健康にとって最も懸念される微量元素は、ヒ素、鉛、カドミウム、クロム、銅、水銀、ニッケルおよび亜鉛である。これらの元素は、それぞれ、土壌中に固有の発生源と経路をもつ。たとえば、ヒ素は人間の健康に多くの影響を及ぼす。洪水（湛水）や排水による土壌水分飽和度の変化はヒ素の可動性を変えるが、湛水によって生じる嫌気的な土壌環境はヒ素を土壌水中に溶け出しやすくする。人間の健康に対して最も重大なことは、土壌プロセスが地下水のヒ素汚染の一因となっていることであり、井戸水の利用によるヒ素への暴露を引き起こしている。

ヒ素は、神経系疾患、腎不全、肝不全、貧血および皮膚がんといった多くの問題を人間にもたらす。世界の1.3億人以上の人々が、世界保健機関の基準値を超えたヒ素濃度の井戸水を日々利用して暮らしている。

鉱山：鉱山は、多くの場合、土地転用と土壌汚染の両方を引き起こす土地利用である。採鉱作業自体は、選鉱くずや廃石に起因する環境問題に比べて比較的小さな地域に影響する。しかし、製錬作業では、汚染物質が酸性の鉱山排水あるいはガス状および粒子状の大気沈着として周辺に移動する可能性がある。

鉱山土壌は新たに地中から現れた物質の風化によって形成し、一般に土壌機能を制限する特性を持つ。ほとんどの場合、鉱山土壌の修復には、植生の生育を補助する資材を施用することが必要である。多くの国が、以前の機能的な状態を回復させるために採掘場所の修復計画を必要とするが、幅広い多くの環境影響が近年になってようやく理解され、評価されたことから、鉱山の修復にはまだ多くの問題が残されている。最近の進展である鉱山土壌を修復するための最適な「造成土」(人工的に作り出された土壌)の開発は、鉱山土壌の修復に新たな可能性を提供している。

農業と林業：農薬の影響が土壌および水、そしてより広い概念である生態系の健全性にどのような影響を及ぼす

のかは、多くの国において大きな関心事となっている。全体報告書に報告されている土壌の生物多様性(これが最も直接に農薬の影響を受けやすい)をモニタリングする手法の進展は、この問題に対する取り組みを大きく前進させることが期待される。

汚染物質の大気沈着は農業、林業および水系に大きな影響を及ぼす。2001年において、イオウ沈着が20 kg S/ha/年を上回った地域は、中国と大韓民国、西ヨーロッパおよび北アメリカ東部であった。また、同年、窒素沈着が20 kg N/ha/年を上回った地域は、西ヨーロッパ、南アジア(パキスタン、インドおよびバングラデシュ)、そして中国東部であった。ヨーロッパおよび北アメリカ東部では、酸性化物質の沈着は減少しているが、これらの地域の中の影響を受けやすい土壌は過去に強く酸性化され、未だに土壌機能が損なわれている。2000年代の中国の窒素沈着は、削減する以前の1980年代のヨーロッパのピークと類似しており、中国における酸性化の問題は未だ深刻化しているかもしれない。

放射能汚染:さまざまなタイプの汚染が危険な水準に達していることで、人間の利用が全く出来なくなっている地域もわずかだが存在する。1986年の原子炉災害が引き起こした2,600 km<sup>2</sup>に及ぶチェルノブイリ立入禁止区域が、おそらく最もよく知られた例であろう。他の例としては、1980年代まで核兵器実験が行われた太平洋諸島が挙げられる。

紛争地域:紛争地帯の地雷原は、とりわけ危険な種類の汚染地である。たとえば、ボスニア・ヘルツェゴビナだけでも、1995年の紛争終了後、4,000 km<sup>2</sup>に及ぶ農地や森林に地雷が放置されており、利用できない状態で残されている。

#### 変化傾向(トレンド)

本報告書における土壌汚染に関する地域別評価によれば、汚染は、ヨーロッパ、北米、オーストラリアおよびニュージーランドで改善傾向にある。これらの地域では過去の汚染地域が存在するものの、ますます厳しくなる政府の規制が、汚染の拡大を抑制し、また既汚染地に必要とされる回復のレベルを明確にしている。したがって土壌汚染は、少なくともその汚染が明らかに特定の発生源に結びつけられ、その汚染に対する社会的関心が政策の策定とその実行に拍車をかける場合には、ほぼ間違いなく、政策的な取り組みにより対応可能な土壌の脅威で

ある。

## VII 土壌と生物多様性

土壌は、驚くべき生きものの多様性を育む場であり、陸域生態系の機能が依存する多くの生態系サービスを制御する基盤的な役割を担っている。このことにより、個々の土壌生物が、あるいは土壌生物同士または土壌生物と植物との相互作用が、土壌生成と養分循環、食料や繊維の生産、気候調節および病害の制御といった広範な生態系サービスに影響を及ぼしている。

土壌の生物多様性は、地上の生物多様性に比べて非常に大きい。たとえば、10 gの土壌は10<sup>6</sup>以上の種からなる、およそ10<sup>10</sup>個の細菌細胞を含んでいる。また、推定36万種の動物が土壌中に生息している。土壌の生物多様性は、世界中で記載された生物種の総数の25%に及ぶと推定されているが、この多様性のほとんどは未解明である。

生物多様性の蓄積は、また、バイオテクノロジーで利用される重要な生物的・遺伝的な資源でもある。すでに、人間の健康に対する土壌生物相の寄与は莫大である。たとえば、1983年から1994年に承認された抗細菌物質の80%近くが土壌由来である。

土壌の生物多様性は、土地利用や気候の変化、窒素の富化、土壌汚染、侵略的生物および土壌被覆などの多くの人間による攪乱に対し脆弱である。最近の感度分析により、土地利用の高密度化とそれに関連する土壌有機物の損失が土壌の生物多様性に対する最大の圧力に位置付けられることが明らかになっている。さらに、多くの研究により、自然の土地の農地への改変や農業集約化のために土壌の生物多様性が減少していることが報告されている。集約的な土地利用に対しては、ミミズ、ダニおよびトビムシのような大きな体を持つ土壌動物と土壌糸状菌が特に脆弱であることが示されている。したがって、土壌有機炭素の損失を最小化し、土壌有機炭素の貯留量を増加させる土壌管理は、土壌の生物多様性に対しても有益な効果を持つかもしれない。

農薬の広域使用は、土壌の生物多様性に対し、直接的、または間接的な影響を与えうる。農業の集約化とともに、農薬使用量は全球で増加してきた。土壌の生物多様性に対する農薬の影響に関する研究は矛盾する結果を示してきた。その影響は、化学組成、施用量、土壌の緩衝力、問題の対象となる土壌生物および時間スケールなどのさまざまな要因に依存するが、多くの場合、データ

が不足している。たとえば、土壤生物に対する農薬散布の影響に関する2006年のレビューは、オーストラリア国内での使用登録のある380の有効殺菌成分のうち、325については入手できるデータがないことを示している。

土壤の生物多様性の特徴を記述する手法にかつて見られた課題は、分子テクノロジーの利用により克服され、現在では、土壤の生物多様性の「ブラックボックス」は今にも開かれそうな状態である。両者の間にある情報量の差を小さくすることは、土地利用や気候変化が生物多様性と土壤の生態系サービスの両者に及ぼす結果をよりよく理解する点で根本的に重要である。土壤サービスをもたらす土壤生物の極めて重要な役割を理解するためには、生物多様性の評価に関する新たな発展と並んで、生物多様性の関わりを特定の土壤機能と結びつけることが欠かせない。

明らかに、私たちは土壤の生物多様性の蓄積とその変化について、ますます多くのことを学びつつある。しかし、地球規模での総合化はまだほとんどできていない。本報告書の中の土壤の脅威に関する地域別評価では、土壤の生物多様性に関してはどの地域においても一致した結果が得られている。すなわち、地域ごとの証拠と根拠は限られており、その変化傾向についてはほとんど合意が得られていない。

## VIII 土壤の状態に関する地域的な変化傾向

世界土壤資源報告書の重要な要素として、土壤の現状に関する地域的な評価がある。この作業は編集委員、各地域のITPS委員、地域によっては広範な土壤科学分野の専門家などによって行われた。各地域での評価には、土壤機能に迫る脅威の順位付けが含まれる。これらの評価は土壤の現状とその変化傾向（トレンド）に関する単純な推定および各推定の信頼性が示されている。表として示された推定は専門家による査読を経た科学文献中の定性的な評価に基づくものである。これまでに公表された研究成果の多様性、情報の不足および時間の制約のため、より正式な評価手法は実行可能でなかった。より透明性および技術的な弁明性が高い評価手法の実行を通じた改良を行うことが、今後の世界土壤資源報告書にとって大きな挑戦である。

評価の準備段階において、ITPSは土壤の現状とその変化傾向の地域間差は複雑な要因によると気付いていた。

影響力の大きい要因は以下のとおりである：

- 土壤と景観の自然特性が地域間で大きく異なり、肥沃で汎用的で回復力も高い土壤が広く分布する運の良い場所もあれば、そうでない場所もある。
- 土地利用の歴史も大きく異なる。ほとんどの国々では農耕が最初に開始されたときに顕著な土地劣化が認められる。特に、強度に風化を受けた低肥沃な土壤が広がる古い景観では、かく乱の影響を受けやすい。世界の一部の地域では、このような土地劣化の段階は遠い過去に生じたものであるが、現段階においても生じている地域がある。
- 各地域の経済的な歴史も土壤の状態に影響する重要な要因の一つであり、地域によっては過去数十年から数百年間にわたって行われてきた収奪的システムによる土地利用によって劣悪な状態の土壤が残されている。また、金融や自然資本が豊富な国々では、より保全的な土地管理形態の実現を支援することができる（たとえば、公的資金による土壤保全プログラム）。
- 土壤の状態に及ぼす人口増大の影響は、先進工業国か低所得国かを問わず、他の全ての要因を圧倒するほど大きい可能性がある。

地域区分は図1に示しているが、地域別の構成国リストについては全体報告書に示したとおりである。この要約報告書のため、各地域の報告書が1頁ごとにまとめられている。

本節では、地域ごとに主筆者を決めて、各地域の土壤に迫る脅威の現状やその変化傾向について図示的な要約がなされている。全体報告書においても、各地域の土壤に迫る脅威について、これらと類似の図示的な評価が行われている。地域的な評価は、概して、土壤状態の順位付けの方がその変化傾向に対する評価よりも若干信頼性が高いと思われる。また、土壤侵食評価の確実性が最も高く、圧密評価の確実性は低く、土壤生物多様性評価の確実性はたいへん低い。

### サハラ砂漠以南のアフリカ

サハラ砂漠以南のアフリカ (SSA) 地域 (24.55億 ha) は、起伏、気候、母材、土壤や農業システムの組み合わせで各々特徴づけられる6つの農業生態学的地域 (AEZ: agro-ecological zones) からなる。表1にSSAにおける土壤への脅威 (重要性の高いものから順にリストしている)、現状、変化傾向および評価の信頼性についてまとめる。

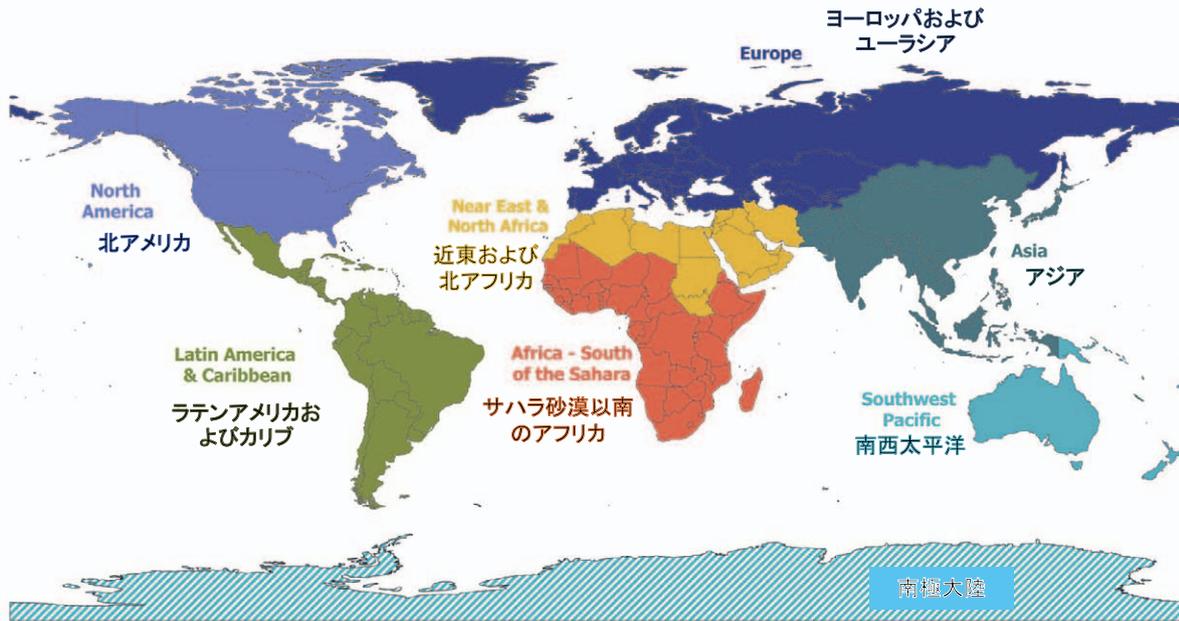


図1 本報告書で用いた地域区分（地域別の構成国リストについては全体報告書中に示されている）

土壌侵食に代表される土壌の劣化は、SSAにおける農業生産性の停滞あるいは減少の根本的原因之一と考えられている。その他農業の土地生産性を低下させる問題として、土壌有機物の減少、養分欠乏、土壌生物多様性の減少、酸性化、塩類集積および湛水があげられる。これらの問題が制御されない場合、アフリカ大陸の多くの場所で食料不安が増大すると予想される。現在の悪循環が続いた場合、アフリカにおける土壌資源の生産性低下は、各国の経済だけではなく、生活の糧を農業に頼っている何百万もの農村家庭の生活に深刻な結果をもたらすだろう。

6つの農業生態系AEZあるいはSSA全体でおこっている土壌劣化の規模や深刻さ、またはその影響について見解は一致していないが、SSAのおよそ4.94億haの土地が土壌劣化の影響を受け、そのうちの46%で水食、38%で風食、12%で化学的劣化および4%で物理的劣化がおこっていると考えられる。土壌侵食、土壌有機物の減少、土壌養分の減少および土壌生物多様性の損失は、土壌へ主要な脅威をもたらす4つの土壌の変化である。これらについては全体報告書で詳細に議論している。その他、SSAの土壌肥沃度低下をもたらす農地管理の特徴として、農地からの完全な作物の持ち出し、偏った施肥、ほとんどまたは全く施肥をしないことがあげられる。国レベルでは、土壌劣化に関する詳細な情報が研究例としてセネガルと南アフリカについて全体報告書に説明されている。

土壌劣化はSSAの生態系サービス、特に持続可能な食物生産や食料安全保障にとって大きな脅威となっており、過放牧、森林伐採、不適切な栽培技術、農業限界地域への農地拡大、人口増加、気候変動および貧困といった複数の要因により引き起こされている。土壌劣化の範囲は拡大しており、SSAに属するほとんどの国々の20%以上の土地がすでに劣化し、人口の65%以上に悪影響を及ぼし、食料生産や人々の生活に負の影響を与えるに至っている。土壌劣化を食い止め、改善するために、緊急の早期介入が必要である。農地は特に侵食を受けやすく養分不足になりがちである。減収のレベルは、作物、土壌タイプ、気候および生産システムにより異なるが、中程度（過去数十年間で2%低下）から致命的（過去数十年間で50%以上低下）なレベルにまで及び、深刻な損失が起きていることが報告されている。国家経済という観点から見た場合、減収や土壌養分の枯渇がもたらす直接的な経済損失は大きな懸念事項である。

今後、劣化した土地の回復やまだ劣化していない土地の保全がこの地域の全ての国に望まれる最重要な課題である。そのためには国ごとの包括的な土壌資源情報データベースの開発や土壌モニタリングシステムの確立が必要である。

#### アジア

アジア土壌パートナーシップ（ASP）のメンバーである24か国の土壌資源の状態について調査された。表2に

表1 サハラ砂漠以南のアフリカにおける土壌への脅威のまとめ

土壌への脅威	概要	現状と変化傾向				評価の信頼性	
		とても悪い	悪い	普通	良い	状況	傾向
土壌侵食	侵食はSSAにおける土地劣化の80%以上を占め、約22%の農地やSSA地域のすべての国々に影響を及ぼしている。栽培、森林伐採、過放牧や干ばつにより、裸地土壌表面の暴露が主な原因である。		↙			●	●
有機炭素の変化	自然植生の変化は、多くの場合土壌炭素レベルを減少させる。さらに、土壌炭素はSSAの一部地域において、農地からの完全な作物の持ち出し、高い土壌温度で活発になる微生物分解により土壌有機物分解速度が速いことやシロアリによる分解が原因で減少する。		↙			◐	◐
養分の不均衡	必須土壌養分不足に代表される養分の不均衡は、主に、施肥が土壌または作物に適したものではないこと、農家が肥料を購入できないこと、および施肥基準に従うことができないことに起因する。本地域のほぼすべての国々で負の養分収支となっている。		↙			●	◐
土壌生物多様性の減少	SSAでは、1年間の森林伐採率が世界で最も高い。最も影響を受けている地域は、西アフリカの湿潤な地域やアフリカの角（エチオピア、エリトリア、ジブチ、ソマリア、ケニア）地域の高地にある森林である。栽培、新種の導入、石油開発および汚染により土壌生物が減少し、動物相や微生物の活動が減少している。				↙	○	○
土壌酸性化	アフリカの土壌の25%以上が酸性土壌である。これらの多くは、他の地域と比べより一層湿潤な地域で起こっている。南アフリカでは、酸性化は深刻な化学的な土壌劣化であり、生産を制限する最大の要因である。		↙			●	◐
湛水	湛水は多くの場合、透水性や排水の不良または下層土における不透水層の出現による地下水位の上昇が原因で起こる。湛水は一般に作物の生産性の低下をもたらすが、水田における湛水は計画的なもので、有益である。				□	○	○
圧密	圧密の主な原因は重機による土壌の踏圧が原因である。開墾（その他の管理も含む）に機械の使用が欠かせない森林地域では、他の地域より深刻な問題である。				□	○	○
土壌被覆と土地転用	都市近郊農業や乾季野菜生産に使われている谷地で問題となっている。				□	○	○
汚染	化学物質（肥料、石油製品、殺虫剤、除草剤や採鉱）による土壌汚染は農業生産性や他の生態系サービスに負の影響をもたらした。ナイジェリアと南アフリカが最も大きな影響を受けた。				↙	○	○

注：土壌への脅威は、重要性の高いものから順にリストし、それぞれの脅威の状況、変化傾向（トレンド）および評価の信頼性を示す。

記号	定義	
変化傾向 (トレンド)	□	安定している（変化していない）
	~	悪化・改善の両方の場合がある
	↙	悪化している
	↗	改善している
評価の 信頼性	○	低：証拠の質や合意のレベルが低い
	◐	中：証拠の質や合意に限界がある
	●	高：証拠の質や合意のレベルが十分高い

表2 アジアにおける土壌への脅威のまとめ

土壌への脅威	概要	現状と変化傾向				評価の信頼性	
		とても悪い	悪い	普通	良い	状況	傾向
土壌侵食	深刻な水食が南アジアや東アジアに及ぶ乾季と雨季を持つ地域、特に丘陵または山岳地帯で起こっている。しかし、成熟段階にある森林や水田ではほとんど問題となっていない。風食はアフガニスタン、パキスタン、インドや中国の最西部や最北部の乾燥・半乾燥地域に主に集中している。		↙			●	○
有機炭素の変化	東アジアや南東アジアの農地では作物の収量増加により土壌有機炭素（SOC）が維持されている。一方、南アジアでは作物残渣が燃料や飼料として広く使われ、土壌に還元されていないため、SOCが減少している。草地の劣化が原因で多くのSOC蓄積量が減少した。		~			○	○
塩類集積とナトリウム化	アジア地域における塩類集積／ナトリウム化の脅威は広範囲に及んでいるが、脅威の程度は様々である。中央アジアの半乾燥地帯や乾燥地帯において、塩類化土壌が広く分布している。一方、モンスーン地帯の一部では、塩類化土壌は海岸地域で発達しており、特に南アジアや南東アジアでは、海水の侵入が主な原因となっている。		~			●	○
養分の不均衡	多くの南アジアの国々では、N、P、Kおよび微量元素について負の土壌養分収支が報告されている。一方、他の国々では、養分の過剰（特にN）が深刻な環境問題を引き起こしている。		↙			●	●
汚染	急速な都市化、産業化や集約農業により、重金属汚染（Cd、Ni、As、Pb、Zn等）や農薬汚染がアジアの様々な地域で起こっている。その結果、深刻な健康被害をもたらしている。		↙			○	○
土壌被覆と土地転用	急速な都市化と大都市の発達により不透水面積（ISA）の割合が増えている。アジア地域は世界の地域の中でISAが最も高い。		↙			○	○
土壌酸性化	多くの酸性土壌がアジアの熱帯および亜熱帯地域に分布しており、主に東南アジアおよび東アジアと南アジアの一部に広がっている。その主な原因は化学肥料の偏った不適切な施用である。熱帯アジアにおける酸性硫酸塩土壌の分布も作物生産を制限している。		↙			●	○
圧密	土地管理の機械化により、農地、草地や用材林の表層／下層土壌の圧密が増加した。家畜による踏圧の増加も、草地や丘陵地域における表層土壌の圧密の主な原因となっている。		↙			○	○
湛水	上流地域での排水施設不備や森林伐採といった人間活動が、洪水危険地域における湛水への脅威を増加している。			↙		○	○
土壌生物多様性の減少	アジア地域における土壌生物多様性に関する情報が不足している。有機栽培を行っている土壌には微生物多様性が高いという報告がある。			~		○	○

注：土壌への脅威は、重要性の高いものから順にリストし、それぞれの脅威の状況、変化傾向（トレンド）および評価の信頼性を示す。

記号	定義	
変化傾向 (トレンド)	□	安定している（変化していない）
	~	悪化・改善の両方の場合がある
	↙	悪化している
	↗	改善している
評価の 信頼性	○	低：証拠の質や合意のレベルが低い
	◐	中：証拠の質や合意に限界がある
	●	高：証拠の質や合意のレベルが十分高い

土壌機能への主な脅威を重要度の高いものから示した。気候の観点では、アジア地域は、温暖で季節的に湿潤な気候に恵まれ、農業に大変適している。しかし、アジアの国々は、近年、社会経済および自然状態の両面で急激な変化に直面しており、このことが地域の土壌資源に非常に大きな影響を与えている。地域別の土壌評価、すなわち1980年代の「人為による土壌劣化の全球的評価 (GLASOD)」と1990年代の「人為による土壌劣化の南・東南アジアにおける評価 (ASSOD)」によると、アジアにおける人為による土壌劣化の度合いは、他の世界の地域に比べ、最も高いことが明らかにされた。

土壌侵食は、アジア地域における最も重大な土壌への脅威である。南アジアおよび東アジアの明確な乾期と雨期がある地域、特に丘陵地や山岳地帯で、深刻な水食が起こっている。しかし、土壌侵食は成熟した森林や水田ではほとんど問題にはならない。風食は最西部または最北部に位置する乾燥・半乾燥地域に集中している。土壌有機炭素の変化はアジア域内により異なる。東アジアや東南アジアの農地では、養分投入、作物収量およびバイオマス生産の増加により土壌有機炭素は維持または増加している。一方、南アジアでは、作物残渣の持ち出しや土地利用変化のため土壌有機炭素が減少しており、重大な脅威となっている。草地の劣化も土壌有機炭素の貯留量を大きく減少させた。

塩類集積とナトリウム化への脅威がアジア地域の至る所で程度は異なるが広がっている。中央アジアの半乾燥・乾燥地帯では、塩類化土壌が広がっている。塩類化土壌は、南アジアや東南アジアのモンスーン地帯の一部の海岸地域でも海水侵入が主な原因で広がりつつある。南アジアの多くの国々では、窒素 (N)、リン (P)、カリウム (K) の養分収支が負であることが報告されている。一方、特にNの過剰は、水域や大気へ深刻な環境問題を引き起こしている。

急速な都市化、産業化および集約農業のためにカドミウム (Cd)、ヒ素 (As)、鉛 (Pb)、銅 (Cu) や亜鉛 (Zn) といった重金属および農薬による土壌汚染が広範囲にわたり観察されている。このような土壌汚染を減らすための対策、特に水田土壌やそこで生産される米の汚染を減らす措置を早急に取り組む必要がある。熱帯や亜熱帯地域では、酸性硫酸塩土壌が生成している。その他の土壌では、偏った不適切な化学肥料の施用により土壌酸性化が起こっている。排水設備の不良や上流における森林伐採といった人為により、下流の洪水危険地域における湛水が脅威を増している。土地管理の機械化により農地、草地

や用材林における土壌の圧密が増している。家畜による踏圧の増加も草地および丘陵地帯における表層土壌の圧密の主な原因である。急速な都市化や巨大都市の建設により土壌被覆や土地転用の割合が増した。アジア地域は全ての地域で最大の不透水面積 (ISA: impervious surface area) を持つ。土壌生物多様性に関する情報は少ないが、土地利用変化が土壌生物多様性の減少に大きく関与している。

全体報告書にはインド、インドネシアおよび日本からの国別の報告が記載されている。インドではほぼ半分の土壌が劣化している。最も劣化した地域は水食、続いて風食、塩類集積、土壌養分の枯渇や湛水の影響を受けている。インドネシアでは、泥炭地の有機質土壌からの土壌有機炭素の損失が主な脅威の一つとして認識されている。日本からは土壌有機炭素の変化、重金属汚染 (放射性セシウムによる汚染を含む)、養分不均衡および侵食の状況について報告されている。全体報告書には水田からの温室効果ガス排出に関する事例についても記載されている。

以上のことから、アジア地域における持続的な食料安全保障を達成するためには、土地資源や水資源の管理が重要な課題の一つであることが確認された。そのためには、土地の生産力の向上、土地劣化や水損失の改善および生物多様性や環境の質の向上が必要である。本地域における最近の土壌資源変化に関する評価を新たに実施することが必要不可欠である。評価は網羅的である必要がある。これらの必要性については南京声明 (Nanjing Communique、訳者注: 2012年進歩的なアジア土壌科学技術会議で採択された文章) でも認識されている。持続可能な土壌管理実施計画を地域ごとに作成することが、計画を実現するための次のステップである。

#### ヨーロッパおよびユーラシア

ヨーロッパ地域での土壌劣化の全体状況に関する報告の大多数は、他の地域に比べて影響が少ないとしている。たとえば、全体状況に関する研究例では、ヨーロッパで第二次世界大戦後の期間に人為的に誘発された土壌劣化が原因の生産性の累計的な損失は平均して7.9%に上ると推定している。しかし、ヨーロッパでの土壌劣化の程度は過小評価されているように思われる。なぜなら、ヨーロッパ地域での劣化には様々な側面があり、前述の評価ではすべてが考慮されていないからである。表3は、ヨーロッパおよびユーラシアにおける土壌劣化で脅威となるもの (重要性の高いものから順にリストしてい

表3 ヨーロッパおよびユーラシアにおける土壌への脅威のまとめ

土壌への脅威	概要	現状と変化傾向				評価の信頼性	
		とても悪い	悪い	普通	良い	状況	傾向
土壌被覆と土地転用	人口が密集している西ヨーロッパでは、（舗装や住居などによる）土壌被覆は最大の脅威となる現象である。		↙			●	●
塩類集積とナトリウム化	塩類集積は中央アジアで広範囲に見られる脅威であるとともに、スペイン、ハンガリー、トルコおよびロシアの一部地域でも困難な問題となっている。		↙			●	●
汚染	土壌汚染はヨーロッパで広範囲に見られる問題である。最も多く見られる汚染は、重金属と鉱油である。ほとんどの地域で、状況は改善傾向にある。		↗			●	○
有機炭素の変化	有機炭素の減少は、ほとんどの農地土壌で明らかに起こっている。北方諸国での泥炭地の排水も急速な有機炭素の損失を引き起こす。ロシアでは広範囲な面積の農耕地が放棄され、結果として急速な有機物の蓄積が起こった。しかし、実際にはそれらの耕作放棄地は部分的に農耕利用に戻っている。		～			○	○
養分の不均衡	本地域の西部では、養分の減少は肥料を大量に施用することによって補填されている。東部では肥料の利用は十分でなく、たいていの土壌で養分収奪により強い鉱物風化が起きている。		～			○	○
土壌侵食	水食は、すべての耕作された山岳・丘陵地域で活発であり、最悪の状況がトルコ、タジキスタンおよびキルギスタンにみられる。この脅威については注意が払われたため、ほとんどの地域、特にEUにおいては、この脅威に対する管理が行われている。			↗		●	○
土壌生物多様性の減少	土壌生物多様性の減少は、この地域の最も都市化され汚染された地域で予想される。しかし、土壌の生物多様性の減少については、ほとんど定量的評価がされていない。			↙		○	○
土壌酸性化	酸性雨による酸性化は北および西ヨーロッパにおける課題である。実際、状況は改善しているが、完全な土壌の回復には数十年必要であろう。			↗		○	○
湛水	湛水は、ほとんどが中央アジア諸国において灌漑により起こっており、たいていの灌漑耕地土壌で見られる。中央アジアでのこの現象は、一般的に塩類集積と関連している。			～		●	○
圧密	重機の利用や過放牧がほとんどすべての農耕地で脅威となっている。			～		○	○

注：土壌への脅威は、重要性の高いものから順にリストし、それぞれの脅威の状況、変化傾向（トレンド）および評価の信頼性を示す。

記号	定義	
変化傾向 (トレンド)	□	安定している（変化していない）
	～	悪化・改善の両方の場合がある
	↙	悪化している
	↗	改善している
評価の 信頼性	○	低：証拠の質や合意のレベルが低い
	○	中：証拠の質や合意に限界がある
	●	高：証拠の質や合意のレベルが十分高い

る)、土壌の現状、変化傾向および評価の信頼性についてまとめたものである。

ヨーロッパとユーラシアの多くの地域は数千年前に農耕文明が発祥した中心地であったため、人為による土壌劣化のプロセスは古代に始まった。ギリシャ、アナトリア、アムダリア川三角州といった地域は重要な例である。その時から、近隣地域での自然資源の減少と気候変動による移民の集中および人口増加により、土地への負荷が増加した。加えて、ヨーロッパ地域の西部は、他の世界の地域とは異なり、200年以上に及ぶ産業化の歴史があり、とりわけ汚染によりさらなる負荷を土壌にかけてきた。

今日では、人為による負荷はヨーロッパの多くの地域で土壌劣化の主な要因となっている。土壌資源は、過度に開発され、劣化として不可逆的に失われつつある。それは劣悪な管理作業、都市化、産業化、鉱業活動および土地利用変化のためである。この地域における土壌への脅威は、他の重要な生態系サービス、気候変動の緩和と同様に、土壌の基本的な役割としての食料、家畜、繊維およびエネルギーの産出という重要な役割を危険にさらしている。この地域における4つの深刻な土壌の脅威は、土壌被覆、塩類集積、汚染および土壌有機物の損失である。

ヨーロッパ地域では、ほとんどの国で長い間、伝統的に土壌を科学的に取り扱ってきたことや土壌のモニタリングを行ってきたことで、土壌資源の現状に関する知見は蓄積されてきた。しかし、得られたデータは時代が違えば用いる方法論も異なり、土壌資源の現状とこの地域全体での土壌劣化の拡大に関する全体像を把握することは難しい。このことは、全体報告書で示されているオーストリア、ウクライナおよびウズベキスタンでの国ごとのケース研究で説明されている。

西ヨーロッパと東ヨーロッパ（ユーラシア）とでは発展の歴史が異なるため、利用可能な土壌資源の開発状況は極めて多様である。そのため、単一的な枠組みによって、資源の定性的な評価を積み重ねることは非常に難しいのが現状である。表3には土壌への主な脅威を示しており、西ヨーロッパと東ヨーロッパ（ユーラシア）との大きな違いを反映している。インフラ整備および住居建設による土壌被覆および土地転用が西ヨーロッパの土壌にとって主な脅威であり、塩類集積およびナトリウム化が東ヨーロッパ（ユーラシア）の土壌にとって主な脅威である。どちらの脅威も東ヨーロッパの土壌にとって最も重大な脅威であるが、短期的な改善の兆候は全くない

のが現状である。全地域において一般的なものが土壌汚染に関することであり、汚染地域の大多数はとても長い期間に行われた工業化の負の遺産として関連付けられる。このことは特に西ヨーロッパではよくあてはまる。全地域の全ての汚染地に関するインベントリは未整備だが、除染実施数の増加および化学物質に関わるより厳格化された環境法の適用など、特に欧州連合域内において改善傾向が認められる。本地域における土壌への他の脅威の重要性は低く、土壌侵食（森林被覆の増加により）および土壌酸性化（工業からの大気排出に関わる規制強化により）については改善傾向を示す場合もある。

#### ラテンアメリカおよびカリブ

ラテンアメリカおよびカリブ（LAC）地域では、急速に増えつつある人口を支えるために、土壌はかけがえない資源である。LAC地域の農業潜在能力は土地面積にして8億haになると見積もられている。しかし、この土地の大部分は熱帯雨林であり、森林破壊はいくつかの土壌劣化を引き起こし、多くの生態系機能に劇的な影響を及ぼすだろう。表4は、LAC地域での土壌への脅威（重要性の高いものから順にリストしてある）、土壌の現状、変化傾向および評価の信頼性を示している。

自然資源の観点からすると、ラテンアメリカは世界で最も豊かな地域である。LAC地域の人口は世界人口のわずか8%であるのに対して、世界の潜在的農地の23%、実質的に耕作された土地の12%、熱帯林の46%、淡水の31%を有している。

農業に伴う自然生態系（草地－灌木－サバンナ－森林）からの土地利用変化は、LAC地域での割合としてほぼ30%程度となり、6億ha強の農業生態系としての利用をもたらししている。それらの面積のうちのかなりの部分は土壌劣化の影響を受けている。気候変動と人間活動の負荷が、この地域における土壌劣化の主な要因である。土壌劣化は気候調節に影響を及ぼし、さらに生物多様性の減少や土壌の復元力（レジリエンス）の低下をも引き起こす。また、土壌劣化は自然災害や極端な気象現象に対する人々の定住地の脆弱性を高めてしまう。

LAC地域における主な土壌への脅威は、自然地理学的な自然の特徴と植生被覆のタイプに関連づけられる。文化的な背景としては、土地所有権が不安定であること、研究が十分でないこと、とりわけ普及事業の欠如などが原因として、農作業が適正に行われなくなる。風食が乾燥地域に集中しているのに対して、とくに焼畑や過放牧に起因する水食や地滑りが山岳地域の傾斜地の土壌劣化

表4 ラテンアメリカおよびカリブにおける土壌への脅威のまとめ

土壌への脅威	概要	現状と変化傾向				評価の信頼性	
		とても悪い	悪い	普通	良い	状況	傾向
土壌侵食	本地域全体に広く分布している。地滑りは、高地での土地利用により加速される。		↙			●	◐
有機炭素の変化	有機炭素の減少は、森林伐採、草地の耕起および単一栽培で加速される。		↙			◐	◐
塩類集積とナトリウム化	不十分な灌漑技術と水質により引き起こされる。土地利用変化も塩類集積を進める。		↙			●	●
養分の不均衡	ほとんどの国で、土壌からの養分の過度の取り出しにより負の養分バランスとなっている。一部では、過剰施肥も同様に養分の不均衡をもたらす。		↙			◐	◐
土壌生物多様性の減少	森林伐採や過剰利用農耕地で起きるものと考えられる。			~		○	◐
圧密	過放牧や農耕地での頻繁な耕作機械の稼働により引き起こされる。		↙			◐	◐
湛水	森林伐採や農耕地での貧弱な土壌構造条件に起因する。			□		●	●
土壌酸性化	今のところ、窒素肥料が過剰施用されているいくつかの場所に限定されている。			~		○	○
汚染	一部の地域で、工業的な（汚染）起源により土壌汚染が引き起こされている。面源負荷による土壌汚染は、集約農業地帯（残留除草剤など）では広く見られる。			~		○	◐
土壌被覆と土地転用	いくつかの流域や洪水氾濫原では、都市化が肥沃な土壌まで広がってきている。			~		◐	◐

注：土壌への脅威は、重要性の高いものから順にリストし、それぞれの脅威の状況、変化傾向（トレンド）および評価の信頼性を示す。

記号	定義	
変化傾向 (トレンド)	□	安定している（変化していない）
	~	悪化・改善の両方の場合がある
	↙	悪化している
	↗	改善している
評価の 信頼性	○	低：証拠の質や合意のレベルが低い
	◐	中：証拠の質や合意に限界がある
	●	高：証拠の質や合意のレベルが十分高い

を引き起こす主な要因である。土壌炭素の減少は、主に森林伐採の後に生じる。機械を用いた集約農業を行っている場所では、塩類集積、養分の不均衡、生物多様性の減少および圧密のような別の脅威が深刻な問題かもしれない。

全体として、LAC地域で影響を受けているもっとも重要な生態系サービスとして、以下が挙げられる：森林伐採によるCとN循環の攪乱の影響を受ける気候調節（特に湿潤熱帯林）、傾斜地における森林伐採によって生じる強度の侵食や地滑りに起因する山岳地域での水生成に関する量および質の変化を通じた水調節、森林伐採と侵食に影響を受けるが保全対策の欠如といった土地利用管理上の問題から生じる傾斜地での食料生産、森林伐採や土地利用および土地被覆などの変化により影響を受ける生物多様性の減少。

全体報告書では、アルゼンチンおよびキューバの土壌劣化に関する2つの研究事例に焦点をあてている。

LAC地域の多くの国では、土壌の状態と劣化の程度についてより正確な診断を行うため、また、土地利用計画と適切な法整備を含め妥当な解決策を見極めるため、改良された自然資源情報システムが必要である。土壌物理性の悪化を防ぐために最も費用対効果の高い方法は予防的な措置である。LAC地域の様々な国で、いくつかの保全的な耕起技術が、1年作物および永年作物の栽培の両方に役立つよい取り組みであることがわかってきた。保全的な耕起技術は土壌の物理的な構造と化学的な肥沃性など土壌の質を向上させるだろう。研究成果の普及を含め、他に推薦できることとしては、熱帯林地域での森林伐採に関連した在来の方法や乾燥地域での灌漑に関係した在来の方法の採用などがある。

#### 近東および北アフリカ

近東および北アフリカ地域（NENA）の面積は約1490万km<sup>2</sup>で、ほぼすべてが極乾～乾燥～半乾燥地域である。この地域の土地資源は世界の乾燥地の中心的な位置にある。この地域の土地資源には、乾燥、頻発する干ばつ、そして砂漠化という3つの気候的な制約（部分的には人為的）がある。表5は、NENAにおける土壌への脅威（重要性の高いものから順にリストしている）、土壌の現状、変化傾向および評価の信頼性についてまとめたものである。

NENA地域の土壌の変化について、地方レベル、国レベルの研究例はたくさんあるが、体系的で標準化されたものは無い。土壌の変化過程の程度や強度について、い

まだに、1980年代後半のGLASODによる研究を参照するほかない。それでも、チュニジアやイランの事例研究が示すように、土壌の変化に関する評価の国レベルのアプローチは可能であり、検証可能な結果を得ることができる。

この地域のすべての国にとって、農地における自然資源の劣化は、農業生産に対する主な脅威のひとつである。塩類化、侵食、汚染および土壌有機物の減少を招くような管理により劣化が起こり、生態系サービスの質や量が大きく減少する。水食は、天水農業が行われている地域の緩傾斜地で卓越しており、緩傾斜地でさえも起こりうる。風食もまた、表土が移動してしまう原因である。強く頻繁な砂嵐が表土を吹き飛ばしてしまい、肥沃な土壌を埋没させ、灌漑水路を埋めてしまう。たとえばイランでは平均して1年に60日間の砂嵐が来るが、イラクのある地域では300日にのぼることもある。人口の増加の結果として、土壌侵食の引き金になった鉱山における採掘や露天砕石などの人間活動が制御できなくなり、土壌が攪乱された。塩類化やナトリウム化による土壌劣化は、気候、農業活動、灌漑の方法および土地の管理に関する政策などに応じて場所により様々だが、主に灌漑農地に限られている。原因は、塩類化やナトリウム化した土壌、海水の侵入および質の悪い地下水の灌漑などである。汚染による土壌劣化は主に、人口の多い国、原油の生産量が多い国および採鉱が盛んな国などでみられる。化学物質を多用する灌漑農法では、有害物質の地下水への負荷量が増える。塩類化は作物の収量を大きく減らし（たとえば、5 t/haから0.5 t/ha）、それは毎年10億US \$、面積あたりにすると1604～2748 US \$ /haの経済的損失と推定されている。いくつかの国では、土壌生産力の損失は潜在的生産力の30～35%と推定されている。

侵食による劣化を元に戻す対策には、堆きゅう肥などの有機物や土壌改良材の施用で炭素の投入を増加して土壌の回復力を改良することや、傾斜地における保全農法がある。政府による実際的な政策、法規および各国の社会経済的な要因により、侵食による土地荒廃を回復できることがわかってきた。塩類化の影響を受けた土壌の修復には、塩類の洗い流しと排水の改良、作物を基本とした農地管理、化学資材と有機質資材、肥料、耐塩生植物の導入、作物管理およびファイトメディエーションなどの方法がある。油による汚染に伴う土地荒廃を食い止めるには、分解の促進やある種の草を用いたバイオレメディエーションなどにより炭化水素を部分的に取り除く

表5 近東および北アフリカにおける土壌への脅威のまとめ

土壌への脅威	概要	現状と変化傾向				評価の信頼性	
		とても悪い	悪い	普通	良い	状況	傾向
土壌侵食	風食と砂嵐はこの地域全体の問題である。発生源における砂の固定は難しくコストもかかる。水食の制御には適用可能な管理法がある。	↙				●	●
塩類集積とナトリウム化	塩類集積は、高温、不適切な灌漑、海岸地域における海水の侵入などのため、この地域に広く分布している。この問題に対処するための適切な研究や技術的な知見が存在する。いくつかの国では、社会経済的な条件が広い範囲での対策の実行を妨げている。		↙			●	●
有機炭素の変化	この地域のほとんどの地域では、高温のため土壌有機炭素の代謝回転が速い。土壌有機炭素の変化は、土壌の管理の変化に対して敏感である。		↙			●	●
汚染	汚染は特定の地域、特に都市化により廃棄物が土地に廃棄される地域や産油地域で大きな問題となっている。	↙				●	●
土壌被覆	住宅地、碎石および道路などの拡大が問題である。土壌被覆や土地転用についての信頼できるデータはない。	↙				●	●
圧密	重粘土質の土壌が強度に耕耘されるところで起きる（例：天水ないし灌漑のヴァーティソル）。程度は小さいがオフロード車によっても引き起こされる。		↙			●	●
土壌生物多様性の減少	本地域では、人為による土壌生物多様性の減少の程度はよくわかっていない。この問題について展望を得るには、さらなる研究が必要である。		↙			○	○
土壌酸性化	この地域のほとんどは乾燥条件にあるため、酸性化は降水量が多い海岸地域に限られる。				□	●	●
養分の不均衡	継続して耕作しており養分が収穫物として失われているのに、休閒、有機物および化学肥料を施用していない地域で起こっている。				□	○	○
湛水	非常に地域限定的な問題で、突発的な洪水、多量の灌漑および地下水位の過度の上昇などが起きた地域で見られる。				□	●	●

注：土壌への脅威は、重要性の高いものから順にリストし、それぞれの脅威の状況、変化傾向（トレンド）および評価の信頼性を示す。

記号	定義	
変化傾向 (トレンド)	□	安定している（変化していない）
	~	悪化・改善の両方の場合がある
	↙	悪化している
	↗	改善している
評価の 信頼性	○	低：証拠の質や合意のレベルが低い
	●	中：証拠の質や合意に限界がある
	●	高：証拠の質や合意のレベルが十分高い

方法がある。効果的に砂漠化を制御することで、炭素隔離の量は、全球の乾燥地の1.0 PgC/haに対して、0.2～0.4 Pg C/haに達するだろう。

#### 北アメリカ

北アメリカは、食料、繊維および飼料生産のために広大な面積—約1.8億haの農地と2億haの放牧地を有している。北アメリカの広大な森林とツンドラ地域は、気候や水の調整に重要な役割を果たしており、本来は人為起源の気候変化に対して脆弱だが、土壌機能に対する人間活動の直接的な影響はこれらの地域では明らかではない。

北アメリカでは土壌への脅威は全体的にかなり減ってきているが、懸念される地域も残っている。表6は、北アメリカにおける土壌の脅威（重要性の高いものから順にリストしている）、土壌の現状、変化傾向および評価の信頼性についてまとめたものである。

北アメリカでは風食も水食も大幅に減少してきている。この減少は、多くの作付体系で省耕起が取り入れられたこと、およびカナダのグレートプレーンで夏期休閑が大幅に減少したためと考えられる。しかし、侵食の程度は、まだ合衆国の温帯草原やカナダと合衆国の混交林平原における許容範囲とされる値を超えている。北アメリカ中部および東部の河川や湖沼と周辺の海洋における栄養塩による水質問題の主な原因は、高レベルの粒子状の窒素とリンの水系への流出と考えられる。

北アメリカのいくつかの地域では肥料の過剰な施用が行われており、それが水質に深刻な問題を引き起こし、N<sub>2</sub>Oの主要な排出源にもなっている。肥料の施用や侵食の防止のため、様々な最善の管理手法（BMPs）が開発され推奨されてきたが、侵食と養分不均衡の問題は続いている。

地域スケールでは、ノースダコタ州中西部の半乾燥平原において塩類化の懸念が高まっている。水食と同様、塩類化についても、気候変動による水文システムの変化とそれに対する人間の反応が合わさって状況は変化している。

汚染や酸性化による土壌機能への脅威は最近20～30年にわたって減少している。それは、1991年のカナダと合衆国の「大気保全二国間協定」のような国家の枠を超えた法律および様々なレベルの政府による規制の強化による。しかし、過去の重大な負の遺産は存在するし、資源の採掘活動が行われている地域ではその場所特有の懸念がある。

土壌被覆と湛水は北アメリカではそれほど研究されておらず、大きな脅威とは認識されていない。しかし、土壌被覆に関しては、この認識は間違っている。合衆国とカナダでは良質な農地の損失が重大な問題であり、それを定量化する必要がある。両国ともに、おそらく湿地の消失のほうが湛水よりも大きな問題であり、将来の報告ではそれをもっと考慮する必要がある。圧密は農地や森林土壌に対する脅威ではあるが、研究や評価の主要な分野ではないためこれらの地域における重要性を評価するのは難しい。

北アメリカでは、土壌炭素量の変化は国の温室効果ガス排出報告計画に含まれて非常に広範囲にモデル化されてきた。しかし、野外観測によってそれが適切に確認されているのはわずか2～3の景観タイプに過ぎない。土壌炭素量の変化には、北アメリカの中でも地域によって非常にはっきりとした違いがある。たとえば、カナダでは温帯草原地域では土壌炭素が増加しているがオンタリオやケベックの混交林平原では減少し続けている。土壌有機炭素に関する最も大きな不確実性は、気候変動に対してカナダ北部やアラスカの永久凍土や泥炭地の土壌がどう反応するかであり、観測の充実が必須である。炭素量の変化だけでなく、CH<sub>4</sub>として放出される炭素の割合もまた重要な懸案事項である。

過去から現在にかけての土壌の生物多様性の変化やそれらの変化が持続可能な土壌管理に及ぼす影響については、我々の理解は限られており、そのため、それが土壌の機能に及ぼす脅威については最大の不確実性がある。この分野の進展のためには、最近設立された地球規模土壌生物多様性イニシアチブなどの計画が必須である。

#### 南西太平洋

南西太平洋地域は太平洋に位置する22の島国、ニュージーランドおよびオーストラリアから構成される。本地域における土壌資源の状態は様々である。本地域は農産物輸出者として全球規模で重要な地域であり、24ヶ国の富は土壌に強く依存している。いくつかの国にとって、土壌機能への脅威は深刻であり、大規模な経済的負担や環境劣化を免れるためにも早急な対応が求められる。土壌機能への人口増加や気候変動による圧力と複合して生じる脅威は西オーストラリア州南西部および太平洋上の環礁国にとって特に難しい課題である。調査や観測ネットワークの不備により、いくつかの脅威に関しては評価することが困難である。表7に土壌への脅威（重要性の高いもの順に示している）、土壌の現状、変化傾向

表6 北アメリカにおける土壌への脅威のまとめ

土壌への脅威	概要	現状と変化傾向				評価の信頼性	
		とても悪い	悪い	普通	良い	状況	傾向
土壌侵食	省耕起と作物残渣管理法の改善により、グレートプレーンやカナダでは侵食速度が低下してきたが、合衆国北中西部やカナダの中央部と大西洋側では引き続き侵食が激しい。			↗		●	●
養分の不均衡	肥料の過剰な施用が多く地域の地表水の水質劣化と一酸化二窒素の放出増加を招いている。地表水の汚染は、侵食の激しさと強く関係しており、同じ地域で起こっている（合衆国北中西部、ミシシッピ川流域およびカナダ中央部の農業地帯）。		↘			●	●
有機炭素の変化	合衆国とカナダの農地の大部分では、保全農法（省耕起や作物残渣の管理法の改善）が広く普及したことにより土壌炭素の貯留量は改善されてきている。国レベルではモデルによる計算結果を検証する調査地点が不足している。北部地域や北極地方の土壌における気候変動に伴う土壌炭素の減少が懸念される。			↗		●	●
土壌生物多様性の減少	北アメリカにおける人為による土壌生物多様性の減少の程度はよくわかっていない。化学資材、特に農薬の使用量の増加が生物多様性に及ぼす影響は社会的関心を集めている。土壌炭素の損失は、同等レベルの生物多様性の減少を招いていると考えられる。			～		○	○
圧密	圧密の心配は、特に表層よりも下層の方が土性が細かい土壌（ルピソル、アルフィソル、アルティソル）では大きな問題ではない。圧密が植物の生育に及ぼす影響は、地域レベルでは良くわかっていない。			□		●	●
土壌被覆と土地転用	住宅地や道路などの拡大が良質な農地においても両国で続いているが、（正しくないことに）関心を集めていない。どちらの国にも土壌被覆や土地転用についての信頼できるデータはない。			↘		○	○
塩類集積とナトリウム化	塩類集積は、合衆国のグレートプレーン北部では、一部で増加していると考えられているが、カナダ西部ではリスクが減少している。			～		●	●
汚染	過去の汚染地は残っているが、両国ともに、規制システムの改善により新たな汚染地が生まれるのを防いでいる。資源の採掘のための大規模な土地の攪乱は引き続き重大な問題である。				↗	●	●
土壌酸性化	国家の枠を超えた環境法により、北アメリカ東部や中部では森林の土壌酸性化が軽減されてきた。農地で酸性化の問題のあるところでは石灰が施用されている。				↗	●	●
湛水	湛水は北アメリカではそれほど大きな問題とは考えられていない。場所によっては、過去10年の降水量の大きな振れにより洪水が起きている。北アメリカでは湿地の消失の方がより大きな問題である。				□	●	●

注：土壌への脅威は、重要性の高いものから順にリストし、それぞれの脅威の状況、変化傾向（トレンド）および評価の信頼性を示す。

記号	定義	
変化傾向 (トレンド)	□	安定している（変化していない）
	～	悪化・改善の両方の場合がある
	↘	悪化している
	↗	改善している
評価の 信頼性	○	低：証拠の質や合意のレベルが低い
	●	中：証拠の質や合意に限界がある
	●	高：証拠の質や合意のレベルが十分高い

表7 南西太平洋における土壌への脅威のまとめ

土壌への脅威	概要	現状と変化傾向				評価の信頼性	
		とても悪い	悪い	普通	良い	状況	傾向
土壌酸性化	酸性化は広範囲に深刻な影響を及ぼしており、生産物除去と溶脱がその寄与因子とされるオーストラリア南部および熱帯地域においては、不可逆的な劣化を引き起こす可能性がある。		↙			●	●
土壌侵食	オーストラリアおよびニュージーランドで取り組まれている改善的な土地管理により土壌侵食速度は減少しているが、いくつかの行政区においては未だに深刻な問題となっている。木材の皆伐により、持続不可能なレベルの土壌侵食が太平洋上の島国で生じている。			↗		●	●
有機炭素の変化	農地への土地利用変化は、一般的に土壌中の有機態炭素の大幅な損失を引き起こしている。改善的な土地管理により、このような状況は安定化してきているが、より保全的な農地管理を行ったとしても土壌炭素が増加するという知見は限られている。		~			●	●
養分の不均衡	ニュージーランドとオーストラリアにおける急速な農業集約化、特に施肥量や反芻動物の飼養頭数の増加は顕著な環境影響を引き起こしている。他の行政区においては、収穫物の持ち出しやその他の損失経路による養分損失量を十分に補填できておらず、養分の収奪が生じている。			↙		●	●
圧密	限られた知見から、土壌の圧密は広範囲にわたって植物の成長を制限していることが示唆されており、オーストラリアとそれより小面積ではあるがニュージーランドの耕地や牧草地において特に顕著である。農地内の限定通行や他の改良策により、土壌の物理的な肥沃度低下を抑制することが可能である。			□		●	●
土壌被覆	都市域や工業地の拡大に伴う高品質農地の喪失は、本地域における全ての国々にとって、新たな問題として浮上してきており、それは潜在的に主要な問題として位置づけられる。				↙	●	●
汚染	現在、汚染について、ほぼ全ての給源は管理規制されており、これまでの活動（肥料中のカドミウム）による過去の蓄積による影響が顕著である。太平洋上の島国にとって、土壌汚染は鉱業や廃棄物処理によってもたらされることが顕著な問題である。				↗	●	●
塩類集積とナトリウム化	土壌塩類集積はオーストラリアや他の太平洋上の環礁国にとって広範で対策費用が高額となる問題である。乾燥年による一時的な小康状態の後、本問題は次の数十年にわたってオーストラリア中に広がっていくだろう。			□		●	●
土壌生物多様性の減少	土壌生物多様性の減少速度は農業が拡大している間（特に過去100年にわたって）、最も高かった可能性があり、最近ではその速度が減少しているようである。しかし、ほぼ全ての行政区や国において基準や傾向に関する情報が不足している。			~		○	○
湛水	湛水は湿潤年には農業生産を制限する要因となるが、その範囲や状況に関する知見は不足している。ニュージーランドやオーストラリア沿岸部においては、排水改良によって本問題に対処している。				□	●	●

注：土壌への脅威は、重要性の高いものから順にリストし、それぞれの脅威の状況、変化傾向（トレンド）および評価の信頼性を示す。

記号	定義	
変化傾向 (トレンド)	□	安定している（変化していない）
	~	悪化・改善の両方の場合がある
	↙	悪化している
	↗	改善している
評価の 信頼性	○	低：証拠の質や合意のレベルが低い
	●	中：証拠の質や合意に限界がある
	●	高：証拠の質や合意のレベルが十分高い

およびそれら評価の信頼性に関するまとめを掲載した。

酸性化は広範囲に深刻な影響を及ぼしており、生産物持ち出しと溶脱がその寄与因子とされるオーストラリア南部および熱帯地域においては、不可逆的な劣化を引き起こす可能性がある。酸性化の影響はニュージーランドの丘陵地帯でも認められる。

オーストラリアおよびニュージーランドで取り組まれている改良された土地管理の実施により土壌侵食速度は減少しているが、この問題はいくつかの行政区において未だに深刻な問題となっている。木材の皆伐により、持続不可能なレベルの土壌侵食が太平洋上の島国（たとえばパプアニューギニアおよびソロモン諸島）で生じている。

農地への土地利用変化は、一般的に土壌中の有機態炭素の大幅な損失を引き起こしている。改良された土地管理の実施により、このような状況は安定化してきているが、より保全的な農地管理を行ったとしても土壌炭素が増加するという知見は限られている。

ニュージーランドとより最近のオーストラリアにおける急速な農業集約化、特に施肥量や反芻動物の飼養頭数の増加は顕著な環境影響を引き起こしている。他の行政区域においては、収穫物の持ち出しやその他の損失経路による養分損失量を十分に補填できておらず、養分の収奪が生じている。

限られた知見から、土壌の圧密は広範囲にわたって植物の成長を抑制していることが示唆されており、オーストラリアとそれより小面積ではあるがニュージーランドの耕地や牧草地において特に顕著である。農地内の限定通行や他の改良策により、土壌の物理的な肥沃度低下を抑制することが可能である。

都市域や工業地の拡大に伴う高品質農地の喪失は、本地域における全ての国々にとって、新たな問題として浮上してきており、それは潜在的に主要な問題として位置づけられる。現在、土壌汚染について、ほぼ全ての汚染源は管理規制されており、これまでの活動（肥料中のカドミウム）による過去の蓄積を原因とする影響が顕著である。太平洋上の島国にとって、土壌汚染は鉱業や廃棄物処理によってもたらされることが顕著な問題である。

土壌塩類集積はオーストラリアや他の太平洋上の環礁国にとって広範囲で対策費用が高額となる問題である。乾燥年による一時的な小康状態の後、本問題は次の数十年にわたってオーストラリア中に広がる見通しである。

土壌生物多様性の減少速度は農業の拡大期間（特に過去100年にわたって）で最も高かった可能性があり、最

近ではその速度が減少しているようである。しかし、ほぼ全ての行政区や国において基準やその変化傾向に関する情報が不足している。

ニュージーランドとそれより小規模ではあるがオーストラリアにおいて行われてきた土地利用の集約化は、国々が資源に制限がある中において、食料生産の実質的な増加を試みる際に今後何年間か最も重要になるであろう土壌管理の課題を示唆している。低所得な南西太平洋諸国において、誤った土地管理、特に制限のない森林伐採は国家繁栄と本地域の包括的な安全保障のための重要課題である。

### 南極大陸

土壌は南極大陸の氷に閉ざされない小範囲、すなわち南極半島および南極横断山脈に沿った地域に存在する。南極大陸の土壌に対する研究は、潜在的な食料生産機能ではなく、土壌生成、土壌多様性および人間活動の影響に対する脆弱性評価に焦点が当てられている。

南極大陸における人間活動の大半は、ロス海地域や南極半島のような氷結しない沿岸上のアクセスが比較的容易な場所に集中している。過去60年間において、70以上の科学系の研究基地を建設するなど、人間活動は顕著に増加している。船舶などによる南極旅行は人気が高まり、観光客の数は2007/08年の夏に46,000人、2013/14では27,700人であった。汚染土壌および廃棄物は100～1000万m<sup>3</sup>と推定されており、残留性有機塩素による汚染は低緯度地域からの長距離大気輸送に起因している。燃料流出は土壌汚染の最も一般的な汚染源であり、数十年にわたって環境中に残留する。

南極大陸の土壌は攪乱され易く、自然回復の速度は低温と液状水が不足しがちなため、非常に遅い。より古く、より風化したデザート・ペーブメント（訳者注：砂礫が敷きつめられたもの）とそれに付随する土壌は物理的な人為攪乱に対して最も脆弱な土壌である。有効表層（たとえば、礫海岸、砂丘および融解水が流下するような場所）は攪乱から比較的早く回復する。

南極大陸での全ての活動はその地域で活動している国々の国内法によって規制され、それらは「南極条約」により派生した国際法的な義務によって支持されている。「マドリッド議定書（環境保護に関する南極条約議定書）」では、南極は「平和と科学のための自然保護区」と指定され、全ての活動に対して環境影響評価を義務付けている。

1991年の条約採択から、環境に対する認識が高まり

厳格な規制がなされている。新たな南極大陸土壌の損害を防ぐため、燃料流出防止、廃棄物の除去、焼却廃止、土壌攪乱の制限および文化・環境上の重要性による保護区域の設定に関する手順書が定められている。

## IX 土壌機能への脅威に関する全球的な要約

表8に土壌に迫りくる10の脅威について、その現状や変化傾向に関して南極を除く全球的な要約を示した。表には、脅威について重要性の高いものから順に示している。楽観視できる根拠のある地域もいくらかあるが、本報告書の抗しがたい結論は、世界の土壌資源の大部分は良くも悪くもないか、劣化しているか、あるいは著しく劣化している状態にあるということである。地球規模での土壌機能への最も深刻な脅威は、土壌侵食、土壌有機炭素の減少および養分の不均衡である。現時点では、個人、民間セクター、政府および国際機関による協調した行動がとられない限り、その状況は悪化する。

## X 土壌政策

地域および地球規模での要約にあるように、いくつかの世界的な土壌管理に関する課題は喫緊で、明白かつ深刻なことは明らかである。原因として、様々な地域における土壌の性質の違いとそれに伴う土地管理の歴史があげられる。その他の問題はより潜在的ではあるが、長期的にみると同様に重要である。すなわち、それらの土壌問題については警戒し、数十年にわたって持続的な政策対応をすることが必要である。現在、ほとんどの国でそれらの問題に対する有効な政策を定めてはいない。

1937年にフランクリン・ルーズベルト合衆国大統領は「自らの土壌を破壊する国家は、自滅する」と述べた。これは、おそらく政策立案者への最も簡潔かつ鋭い指摘であり、今日では、それは幾つかの国の政策立案者にとっては、当然の課題となっている。

持続可能な土壌管理を保証するための効果的な政策の策定は、明示することも、実行することもどちらも容易なことではない。このことは、国の産業の発展段階、その国の土壌の天然資源としての能力、土壌機能への直接の脅威がどうであるかによらない。本報告書では、活動の開始にあたって、以下の7つの政策方針をより広い分野横断的な問題ととらえ、解説を添えて提言する。

## 教育および啓発活動

土壌および土地資源に関する知識は持続可能な土壌管理を実現する基礎である。土壌に関する知識は正規教育に取り入れるべきであり、学校教育の全てのレベルで行うことが望ましい。いくつかの国では土壌に関する理解を基準に、それを利用した文化、社会、科学そして経済など幅広い教科を教える総合的で創意工夫に富んだカリキュラムを展開している。より高度になると、生態学、森林学、農学、地理学、水文学や他の環境科学のような関連する分野との関係だけでなく、土壌科学のさまざまな分野（たとえば、土壌物理、土壌化学、土壌生物学およびペドロジー）を網羅すべきである。正規教育システムにはまた、アウトリーチ活動、職業訓練および公開講座に対する仕組みも必要である。一部の地域では、土地に対する知識は土着文化と伝統に深く組み込まれており、この知識を育み、支援することが求められる。

この政策方針には、国家が持続可能な土壌管理を達成するための十分な理解と教育を、正規教育および課外教育のシステムが協調して提供しているかどうかを評価することが最低限必要である。土壌管理に直接的に関わる政策方針には、その活動の有益性、持続性を保証するための十分な教育が求められる。

## モニタリングと予測システム

土壌の分布や特性は多くの行政区域や国においても十分に明らかではなく、モニタリングも容易ではない。結果として、土地利用が土壌特性とよく一致しているかどうかを理解するには、最適な管理形態を特定し、土壌がどのように機能しているのかをモニタリングするための何らかの診断システムが必要である。持続可能な土地利用と管理に必要な診断システムの重要な要素は以下の4つである。

- 土壌機能の空間的な変化状況の把握（たとえば、地図と空間情報）
- 土壌の経時的な変化を検出し説明する能力（たとえば、モニタリングサイトの利用、長期実験、環境指標）
- ある特定の土地管理システムおよび気候条件下で起こりうる土壌状態を予測する能力（たとえば、シミュレーションモデルを利用する）
- 植物の土壌要求性の理解

「世界土壌資源報告書」の準備は関連情報の不足による制約があり、土壌図の作成範囲は様々で、一部の地域で

表8 各地域（南極を除く）における土壌への10の脅威に関する現状と変化傾向のまとめ

土壌機能への脅威	現状と変化傾向				
	とても悪い	悪い	普通	良い	とても良い
土壌侵食	↙ NENA	↙ A ↙ LAC ↙ SSA	↗ E ↗ NA ↗ SP		
有機炭素の変化		~ A ↙ LAC ~ E ↙ NENA ↙ SSA	↗ NA ~ SP		
養分の不均衡		↙ A ↙ LAC ~ E ↙ SSA ↙ NA	↙ SP	~ NENA	
塩類集積とナトリウム化		~ A ↙ E ↙ LAC	↙ NENA ~ SSA	↗ NA ~ SP	
土壌被覆	↙ NENA	↙ A ↙ E	~ LAC ↙ NA	□ SSA ↙ SP	
土壌生物多様性の減少		↙ NENA ↙ LAC	~ A ↙ E ↙ SSA	~ NA ~ SP	
汚染	↙ NENA	↙ A ↗ E	~ LAC	↙ SSA ↗ NA ↗ SP	
土壌酸性化		↙ A ~ E ↗ SSA ↙ NA	~ LAC ↙ SP	~ NENA	
圧密		↙ A ↙ LAC ↙ NENA	~ E ~ NA ~ SP	□ SSA	
湛水			↙ A ~ E □ LAC	~ NENA ~ NA □ SSA ~ SP	

注：土壌への脅威は、重要性の高いものから順にリストしている。

記号	定義	
地域	SSA	サハラ砂漠以南のアフリカ
	A	アジア
	E	ヨーロッパおよびユーラシア
	LAC	ラテンアメリカおよびカリブ
	NENA	近東および北アフリカ
	NA	北アメリカ
	SP	南西太平洋
変化傾向 (トレンド)	□	安定している（変化していない）
	~	悪化・改善の両方の場合がある
	↙	悪化している
	↗	改善している

は情報が古い。土壌の変化に関するモニタリングと予測能力も初歩的である。多くの国ですでに構築されている経済・気象・水資源の情報と同等な、協調した土壌情報システムを全ての国が必要としている。

この政策方針は、情報収集と普及のための適切な制度システムの構築を各国に求めている。土壌に関しては、次の理由のため難しい。

- 政府の全てのレベルにおいて土壌資源に関する信頼できる情報が必要であるが、他の公的機関に代わってこの情報を収集する責任が政府、部署のどのレベルにおいてもないことがよくある。
- 土壌に関する公共の利益、私的利益はどちらも大きく、また重なり合っているため、公的機関および民間機関による共同投資ができる仕組み作りが必要とされる。
- 土壌情報の需要と供給に関しての市場の失敗が深刻かつ広範な問題である。最も簡単な事例として、土壌情報の受益者が情報収集にかかる費用を支払わない。それが新規調査やモニタリングおよび試験プログラムへの投資額の減少につながる。
- 前述の内容も一部影響して、多くの国では、土壌情報収集活動は政府短期プログラム、民間企業、個人または特定の法的要求事項への対応を通して資金を調達しているのが現状である。これでは、持続性・利便性・応用性に優れ、利害関係者の要求に応えられる情報システムを構築できない。

「世界土壌憲章」で定められたよう、政策立案者はこれらの挑戦に取り組み、各国土壌情報システムの開発と維持ができるよう保証すべきである。また、これらのシステムは地球土壌情報システムと統合可能にする必要がある。これらの情報システムは持続可能な土壌管理の広がりおよび土壌資源の総合的な状況をモニタリングできる必要がある。

国際レベルでの挑戦は、地球土壌資源および持続可能な土壌管理の状態に関する信頼できる報告の編集や普及の促進である。高精度・高分解能の地球土壌情報システムを開発し、他の全地球観測システムと確実に統合するように調整する努力も必要である。

#### 市場への土壌情報の提供

もし信頼できる土壌情報に基づくことができれば、多くの土壌関連の市場で、より効率的でより良い資源配分ができるだろう。このことは、土壌資源の資本価値（た

例えば、農地の養分状態、汚染物質の有無および土壌管理の改善の選択肢）に関してより詳細な情報入手できれば従来の不動産市場を含み、さらに土壌炭素貯留の公式取引市場や保険目的（たとえば、作物保険、環境災害）の的確なリスク評価までに及ぶ可能性がある。

多くの国では市場活動の監督と規制が政府の中心的な機能の一つである。この政策方針による生産性と経済的恩恵は第1（教育および啓発活動）と第2（モニタリングと予測システム）の政策方針の成功に大きく依存する。信頼できる土壌情報の入手を保証することが、政策立案者にとって最も重要な政策導入のカギである。

#### 適切な奨励制度と規制

土地利用と管理への規制できる度合いは政府の介入度に大きく左右され、国により大幅に異なる。土地利用と管理を有効に規制するには、制限基準設定、区分け計画の実施や守られているかの監視のための良い基盤情報がなくてはならない。当たり前のことのように見えても、土壌管理技術（たとえば、堆肥施用、過剰施肥、乾燥地塩分制御）の規制や地域区分システム（たとえば、良好な農地土壌の保護）の実施には複雑な技術的、制度的、また政策的課題が含まれる。

規制に頼らない国では、同じ成果を挙げるために奨励制度を使うことが多い。これには、補助金制度（たとえば、貧困国では肥料、より工業化が進んだ国では保全型耕起のための機械購入）や、特定土壌管理技術（たとえば有機農業）の導入のための様々な認証制度などを含むことができる。時にこのシステムは市場参入に欠かせない（たとえば、スーパーマーケットのサプライチェーンへの参加）ため、強い経済推進力を担うことがある。

もう一度繰り返すが、政策課題は土壌の状態のモニタリングと土地管理の関係性を理解するために構築されたシステムに大きく依存する。この基盤情報が無ければ、政策立案者はそれらの規制や奨励制度が設計した通りの成果を得られたかどうかを判断できない。ここで間違えると高い代償を払うことになりかねない。

#### 世代間の公平性の確保

人間が加える土壌資源への圧力が危険な限界値に達すると同時に、世代間の公平性を確保することがより困難となっている。大部分の伝統文化や家族経営農業システムでは、部族所有地や家族農場を次世代へ引き継ぐときには、自分が引き継いだ時と同じもしくはさらに良い状態で渡さなければならない強い文化規範がある。しか

し、農業の産業化、緑の革命技術の導入、より集約的な土地利用がより一般化したことに伴う土地管理の劇的な変化が土壌資源に大きな影響を与えている（表8, 10節）。一人当たりの利用可能な農地面積が急激に減少しており（1960年では0.45 ha、1980年では0.32 ha、2020年の予測では0.22 ha）、将来世代の利益が保障されていないのは明らかである。

多くの国が、世代間の公平性に関するさまざまな課題を評価するための優れた報告システムを有する（たとえば、年金や医療保険制度の実行可能性の長期予測）。シナリオ分析や将来予測は困難な仕事であるとはいえ、それは国の備えや長期的な持続可能性において根本的なことである。政策立案者は通常業務としてこの部分を行う。

この政策方針は、政策立案者に土壌の状態や自然資源の不足についての現在の傾向が示す結果を政策分析の要因に加えることを要求する。

#### 地方・地域・世界の安全保障を支える

生産性のある土壌のさらなる喪失が食料価格の乱高下を増幅させ、何百万人もの人を貧困へと追いやるのが序文に言及されていた。このような人々の苦痛には、潜在的な社会不安や紛争といった様々なリスクが伴う。土地荒廃や資源不足は衝突の一因になりうる。しかし、単なる資源不足に起因する紛争は稀である。自然資源の使用権利や利用に関する緊張が確かに存在するが、紛争にはさまざまな要因が関係する。時にはそうした緊張が高まり、暴力的紛争に発展するかもしれないが、必ずしもそうなるとは限らない。大抵の場合、自然資源の劣化は紛争の原因よりもむしろ結果である。土地劣化の存在が協調的解決策にもつながる可能性がある。政策立案者や土壌管理責任者にとって、資源紛争の解決の助けになるだけでなく、紛争の予防や平和的な相互関係を見出す良い機会でもある。

この政策方針には、他に多くの側面があるが、最も重要なのは、地方・地域・世界の安全保障に責任のある政策立案者が、食料安全保障を確保するために土壌資源および国力をどのように活用するかを考える必要があるという点である。現段階では土壌資源の基本情報の不足のため、農地面積や潜在的な農業生産性の評価といった簡単な作業でも一部の国にとって困難である。

#### 相関性と因果関係の理解

持続可能な土壌管理および関連政策（たとえば、食料安全保障、生物多様性の保全、気候変動への適応と緩和）

の成功のため、政策の相関性と因果関係を理解しなければならない。この関係は経済、社会および環境などの多くの分野で十分理解されているのに対し、土壌資源に関する理解は最近始まったばかりである。この理由の一部は土壌に関する問題を今まで地域レベル、ときには国レベルの問題として捉えてきたためである。しかし、これからは以下のように、グローバルな見方で土壌を政策問題として捉えなければならない。

- 今後数十年間世界を養うための農業に適した土壌の面積は十分か？
- 土壌が主要作物の見かけ上の収量の頭打ちの制約になっているか？
- 気候変動と土壌の分布状況がどのように土地利用の新しいパターンを作り出すか？

国境を越えた食料安全保障や土壌劣化の問題に対処するため、包括的な全球的視点も必要である。貿易により、大部分の都会に住む人々が局地的資源の枯渇から守られる。ひとりの地球市民を養うため必要な土地面積と水資源を地球上のあちこちから調達することになる。結果的に、土壌劣化や生産性の損失が局地的な問題あるいは国の問題ですまなくなる。それはまさしく国際問題である。

領域内、国内および地域内で行われる政策決定が他の場所でどのように影響するのか、国際機関や各国政府、そして多国籍産業は興味を持って見ている。「世界土壌資源報告書」は適切な事例を提供でき、アメリカやヨーロッパのバイオ燃料の政策決定が東南アジアの土壌資源に与える影響およびニュージーランドの貿易障壁撤廃後の土地利用の変化や集約化などが挙げられる。

#### 分野横断的な問題

この節で概説した政策課題は、より効果的な政策対応を実現してゆくための出発点にすぎない。ほとんどの政策方針はさまざまな面で互いに関連する。さらに全ての方面で関連する横断的な政策課題もある。ひときわ目立つのが、科学分野と技術分野に関連する政策である。緑の革命が農業科学と技術の力を示したが、一方で単一の生態系サービス（食料生産）に焦点を当てた場合、他のもの（たとえば水質）の犠牲が必要とされるというトレードオフの実証ともなった。

現代の科学政策は往々にして影響力と公益に集中する。その際、土壌に関する研究はしばしば単なる目的達成のための手段と見なされる。土壌に関する研究はいくつの重要な“目的”（たとえば、農業、環境、水管理およ

び気候変動)に関連するにもかかわらず、科学政策の優先順位を設定する際に見落とされがちである。土壌資源は科学政策にとって分野を横断する問題であると認識を改め、土壌に関する研究が十分なサポートを得られるようにする必要がある。

## XI これからにむけて

本書は、世界の土壌資源の状況に関する、かつてない初めての報告書である。そして、本書で行われた評価は、長く待ち望まれていたものである。土壌だけに焦点を絞ってみれば問題は簡単にみえるが、実際は、その根は深いものである。土壌は、適切に管理すれば、元素、水、およびエネルギーを循環させ、人類に多大な利益を与える。しかし、もし管理がお粗末なものであれば、人類にとって楽観的な未来は想像できない<sup>1)</sup>。こうした観点から、私たちは評価の対象を、国連砂漠化対処条約 (UNCCD)、生物多様性条約 (CBD)、国連気候変動枠組み条約 (UNFCCC) といった国際条約の対象領域である土地、生態系、および地球システムプロセスへと拡大して組み立てた。

本書における評価は、2000報以上の査読論文に含まれる科学的知見を総合して行われたものである。その結果、土壌に関する政府間技術パネル (ITPS) はいくつもの憂慮すべき結論に達した。すなわち、現在の土壌の状態がこのまま進行すると、今後数十年の間に、最も脆弱性の高い地域の何百万人もの人々が壊滅的なダメージを受ける危険性が予測される。さらに重要なことは、国際社会<sup>2)</sup>が、現在のところ、それに応じた対策や準備を正しく講じていないということだ。

同時に、ITPSは、各国はそれぞれ現在の軌道を修正す

ることが可能であるという確固たる見解を有する。そして、その出発点は以下に挙げる「世界土壌憲章」<sup>3),4)</sup>に記載された行動の実行である。

### 個人および民間部門の行動

- 土壌を利用または管理する個人はすべて、その土壌の管理を託された者として行動し、このかけがえのない自然資源が、持続可能なかたちで管理され、将来の世代のために保護されるようにしなければならない。
- 財およびサービスの生産において、責任を持って持続可能な土壌管理を実践する。

### 団体および学会の行動

- 土壌に関する情報と知識の普及に努める。
- 主要な土壌の機能が損なわれないように、持続可能な土壌管理の重要性を訴える。

### 政府の行動

- 現存する土壌の種類と国家のニーズに適合する持続可能な土壌管理を推進する。
- 社会経済および制度の面での障害を取り除き、持続可能な土壌管理に好適な条件の創出に努める。土地の保有、使用权、融資制度の解説および教育プログラムに関連して持続可能な土壌管理の導入の障害となっている問題を克服する方法ならびに手段を追求する。
- 職階や分野の枠を超えて土地利用者の持続可能な土壌管理導入を促進する教育および能力養成の取り組みの開発に参加する。
- 最終利用者に関係する持続可能な土壌管理の開発お

<sup>1)</sup> Richter D.D., Markewitz D. (2001) 'Understanding soil change.' Cambridge University Press: Cambridge

<sup>2)</sup> GSP, Release of the Revised World Soil Charter, <http://www.fao.org/globalsoilpartnership/highlights/detail/en/c/330570/>

<sup>3)</sup> SSIF (Soil Survey Inventory Forum), 改訂世界土壌憲章2015, <http://soil-survey-inventory-forum.net/>

<sup>4)</sup> 地球土壌パートナーシップ (GSP) のピラー (計画の柱) は以下の通りである。

ピラー1:【管理】土壌を保護・保全し、持続可能な生産性を確保するための土壌資源の持続可能な管理の推進。

ピラー2:【啓発】土壌に関する投資、技術協力、施策、教育、啓発、および普及の奨励

ピラー3:【研究】対応の優先度や生産、環境、および社会開発との相乗効果に焦点を当てた土壌に関する研究開発の推進

ピラー4:【情報】土壌データと情報システムの整備改善:データ収集、分析、検証、報告、モニタリング、および他データとの統合

ピラー5:【標準化】土壌資源を持続可能に管理し保護するための調査方法や指標の標準化

よび実施に確かな科学的根拠を与える研究プログラムを支援する。

- 政府のあらゆるレベルにおいて政策方針や法規に持続可能な土地管理の原則や実施を盛り込み、できれば国家レベルの土壌政策の策定につなげる。
- 気候変動への適応およびその緩和ならびに生物多様性の維持の計画立案における土壌管理の実施の役割を明示的に検討する。
- 人間の健康と福祉を保護し、人間、植物および動物にとって脅威となるレベルを超えて汚染された土壌の改善を促すために、一定のレベルを超える汚染物質の蓄積を制限する規制を制定し、実施する。
- 国の土壌情報システムを開発・維持し、地球土壌情報システムの開発に寄与する。
- 持続可能な土壌管理の実施と土壌資源の全体的な状態を監視する国の制度や枠組みを開発する。

土壌が直面する課題が明確に指摘された年として記憶にとどめられることになるだろう。私たちは、第2次世界土壌資源報告書が公表される予定の2020年までに、これらの課題解決への取り組みに大きな進展のみられることを願う。

#### 国際組織の行動

- 地球規模の土壌資源の状態と持続可能な土壌管理の手順に関する公式報告書の作成と普及を促す。
- 高精度・高分解能の地球土壌情報システムを開発し、それが他の地球観測システムと統合されるようにする各方面の取り組みを調整する。
- 持続可能な土壌管理の取り込み、実施および監視を可能にする適切な法制度、組織およびプロセスを確立するために、要請に応じて各国政府を支援する。

より具体的には、ITPSは地球土壌パートナーシップの各ピラー行動計画<sup>5)</sup>に示された優先課題に配慮する。そのために、以下の取り組みが重要である。

- いつ、どこで土壌機能が損なわれつつあるかを特定するための観測・予測システムの劇的な改良(ピラー4および5)
- 緊急の対応が必要であったり、自給農業への依存度が極めて高い地域に対する、広範囲にわたる持続可能な土壌管理の実施。(ピラー1、2、3)
- 持続可能な土壌管理を実施するためのガバナンスの改善とより効果的な制度設計(自発的ガイドラインの準備を手始めに)(ピラー1、2)
- 資金動員の円滑化と次世代の土壌の専門家の教育訓練(ピラー1、2、3、4)

国際土壌年である2015年は、今後数十年の間、世界の