

# Future Earth

—地球環境変化研究における新たな国際的な枠組み—

Future Earth :

A New International Program for Global Environmental Change and Global Sustainability

約1万年前の農業革命により人類の文明が開始されたが、産業革命以降、人類は地球の気候と環境を大きく変えつつある。このままでは、人類の生存基盤である地球の環境自体が危うくなり、「地球の限界」を超えて、地球環境が劇的に変化する tipping point に近づいているとの指摘もなされている。人類を含む生命圏の持続に向けた統合的な研究と方策が喫緊の課題となっている。地球環境変化研究の4つの国際プログラム (WCRP, IGBP, DIVERSITAS, IHDP) が進められてきたが、人類活動による地球システム変化の理解に基づく人類・生命圏の持続的な生存基盤の追求には、自然科学と人文・社会科学との文理融合の学際的研究が必要である。さらに、持続可能な社会へむけた転換のためには、科学者と社会の様々なステークホルダーとの超学際的連携・協働が必要である。Future Earthはこのような学際的研究と、超学際的な連携・協働のための国際的な枠組みとして設計された。世界人口の60%以上を占め、人類全体の経済活動の大きな部分を占めているアジアは、環境の悪化も劇的に進んでおり、アジアでの持続可能な社会達成なしに地球全体の持続可能性の追求は不可能である。アジアにおける Future Earth 推進には、日本の主導的役割が強く期待されている。

The human civilization started since the agricultural revolution in about 10 thousand years ago, but particularly after the industrial revolution the human activity has been changing the climate and environment of our planet earth. Some recent studies have suggested the earth environment is approaching a "tipping point", crossing over our "planetary boundaries" when the earth environment would drastically and irreversibly be changed. The four global environmental change programs (WCRP, IGBP, DIVERSITAS and IHDP) have been conducted to understand the earth environment change including the impact of human activities. However, to pursue the sustainable basis of the biosphere and human society, we need to promote interdisciplinary studies of natural, social and humanity sciences. Furthermore, to promote transformation to sustainable society we need to collaborate with many stakeholders of society through trans-disciplinary research and activity. Future Earth has been designed for these inter-disciplinary and trans-disciplinary studies toward global sustainability. In Asia, where the recent urbanization and economic development have been extremely rapid, and the environment has also been extremely deteriorated, the Japanese leadership role is highly expected in the Future Earth in Asia

---

安成 哲三

総合地球環境学研究所 所長  
日本学術会議 第22期会員

YASUNARI, Tetsuzo

Director General,  
Research Institute for Humanity and Nature (RIHN)  
Council member, Science Council of Japan



1. はじめに

世界の自然科学者の集まりであるInternational Council for Science (ICSU: 国際科学会議)と人文社会科学者の集まりであるInternational Social Science Council (ISSC: 国際社会科学協議会)が中心となって、地球環境変化研究と持続可能な地球社会の構築をめざしたFuture Earthという新しい国際的なプログラムが動きつつある。1970年代から地球環境の危機がさまざまなかたちで指摘されてきたが、21世紀に入っても地球環境は決して良くなっているとはいえない。温室効果ガス増加の抑制に向けた国際的な取り組みを含む「地球温暖化」への対策など、進められている面もあるが、水資源、大気や水汚染問題、生態系の破壊など、地球環境全体としてはより深刻化しているといっても過言ではない。Future Earthは、地球環境変化を包括的に理解しつつ、持続可能な人類社会の構築に向けて、研究者だけでなく、社会全体として行動を提起していこうという枠組みである。本稿では、まだ端緒についたばかりのFuture Earthの設立経緯と現在の動向を説明し、今後、日本として、どうFuture Earthに対応していくべきか、私なりの提案も含めて紹介したい。

2. 今なぜ、Future Earthなのか？

大気圏・水圏・地圏・生命圏からなる地球表層は、図1のように、ひとつのシステムとして構成されている。このシステム(ここでは地球システムと仮に呼ぶことにする)は、エネルギーの流れ、水や物質の循環、生態系など、多くの要素が複雑にからみあった動的平衡系として長い時間をかけて進化し、維持されてきた。私たち人類は、生命圏の一員として出現してきたわけであるが、この地球システムを利用しつつ、現在の人類の文明を築いてきたといえる。地球環境ということばは、人類の生存に密接に関係した地球システムの状態として使われている。

人類が出現し現人類への進化してきた数百万年間前から現在に至るまで、地球システムは中高緯度の大部分が氷床・氷河に覆われた寒冷な気候の時期(氷期)と、氷床・氷河が大きく後退し温暖な気候の時期(間氷期)が、数万年から10万年の周期で繰り返す氷河時代(Ice Age)とよばれる状態にある。図2に示すように、約1万年前に最終氷期が終わり、完新世(Holocene)とよばれている温暖で比較的安定した間氷期の気候の下、8千年前前後に人類はイネ・麦を中心とする農業を発見(あるいは発明)し、人類の文明が開始された。この農業革命は、同

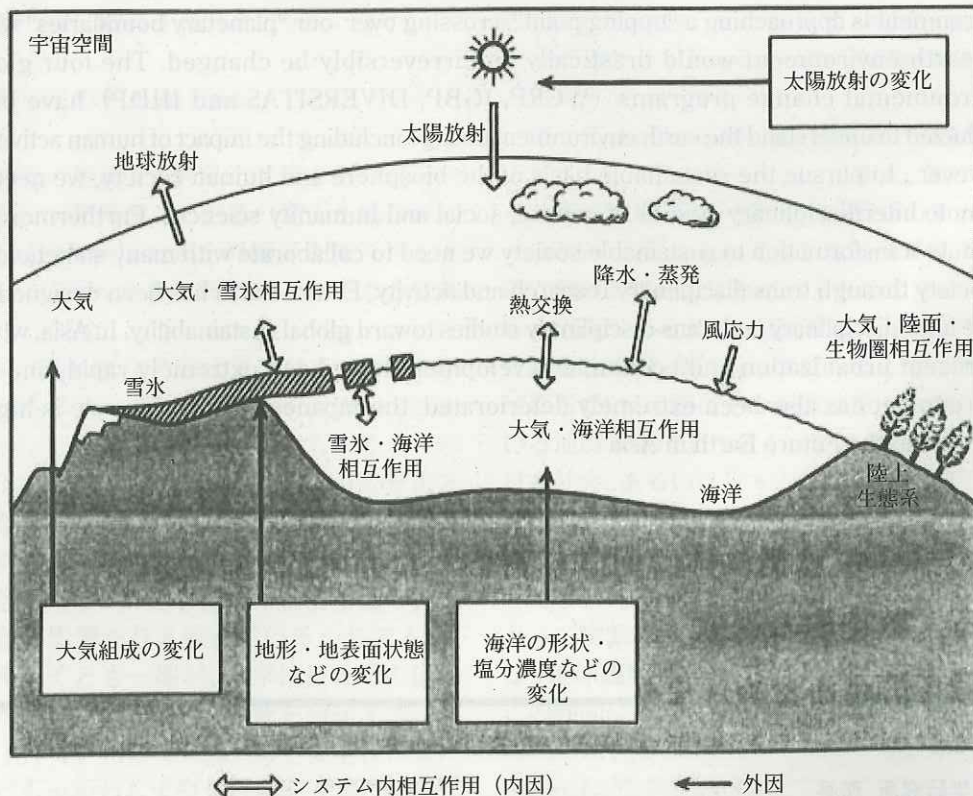


図1 気候を決めている地球表層システム(地球システム)の模式図。



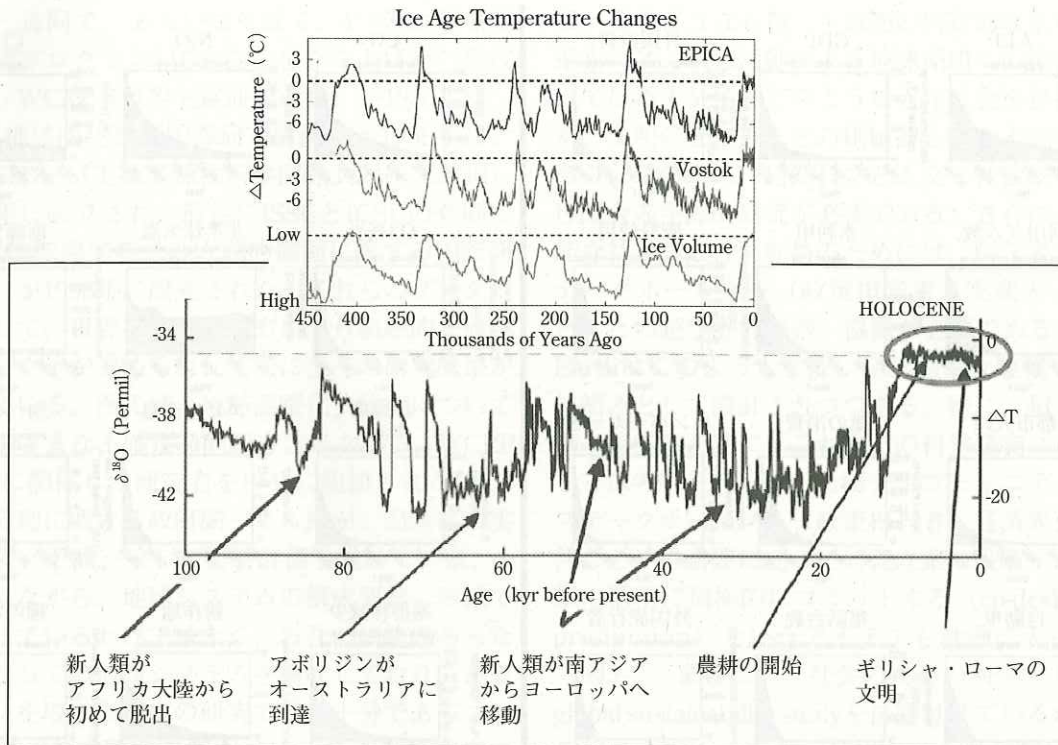


図2 酸素同位体  $\delta^{18}\text{O}$  (全球気温の指標) からみた 10 万年前以降の最後の氷期サイクルと過去約 1 万年の完新世 (Holocene)。いくつかの人類のイベントが記されている。(Rockstrom et al., 2009) 上の図は、南極の氷床コアから復元された過去 45 万年における地球の気温変動を示す。約 10 万年周期の氷期サイクルが明瞭に示される。下の図は、上図の最近 10 万年について、グリーンランド氷床コアから復元したものである。

時に、人類が地球システムを能動的に改変する第一歩となった。18世紀のヨーロッパで開始された産業革命はさらに、石炭・石油などの化石燃料の利用により、大気組成の改変や水・物質循環の変化などを引き起こし、特に20世紀後半以降には、地球システムの改変が気候だけでなく、図3に示すように、多くの環境要素を大きく変えつつある。特に産業革命以降、地球環境に対する人間活動の影響は急速に顕在化しており、現在は、地球史の中でも、人類が大きく地球システムを変えつつある時代であるとして、オゾンホール研究で有名なノーベル賞化学者Crutzenは、Anthropocene (和訳は人類世あるいは人新世)と命名している (Crutzen,2002)。

### 3. 地球環境変化研究の国際的な統合の必要性

#### 3.1 地球の限界？

人間活動によるこのような地球システムの改変と地球環境の悪化についての懸念は、1972年にローマクラブによる「成長の限界」ですでに指摘されていたが、地球環境変化に関する危惧が本格的に指摘さ

れだしたのは、1980年代以降、地球気候の温暖化が急激に顕著になってからである。しかしながら、地球環境変化は、地球温暖化に限らず、さまざまなかたちで進行している。例えば、Rockström et al. (2009) では、図4に示すように、地球システム変化に関与している指標として重要な10の要素 (気候変化、海洋酸性化、成層圏オゾン減少、窒素循環変化、リン循環変化、全球的な淡水利用、土地利用変化、生物多様性減少、大気へのエアロゾル負荷、化学物質汚染) について、すでに生物多様性、窒素循環、気候変化 (温暖化) については、すでに限界を超えてしまっていると警告を発している。さらに、いくつかの要素についてはすでに限界を超えて、いわば「地球の限界」に達しつつあり、地球環境がじわじわと変化するだけでなく、劇的に変化する tipping point に近づいているとの指摘もなされている。

#### 3.2 地球環境変化研究の国際プログラムの統合・再編

このような地球環境変化の実態解明とメカニズム、そして将来の予測に向けた研究を国際的に組織的に進めるため、ICSUはいくつかの国際組織、国連



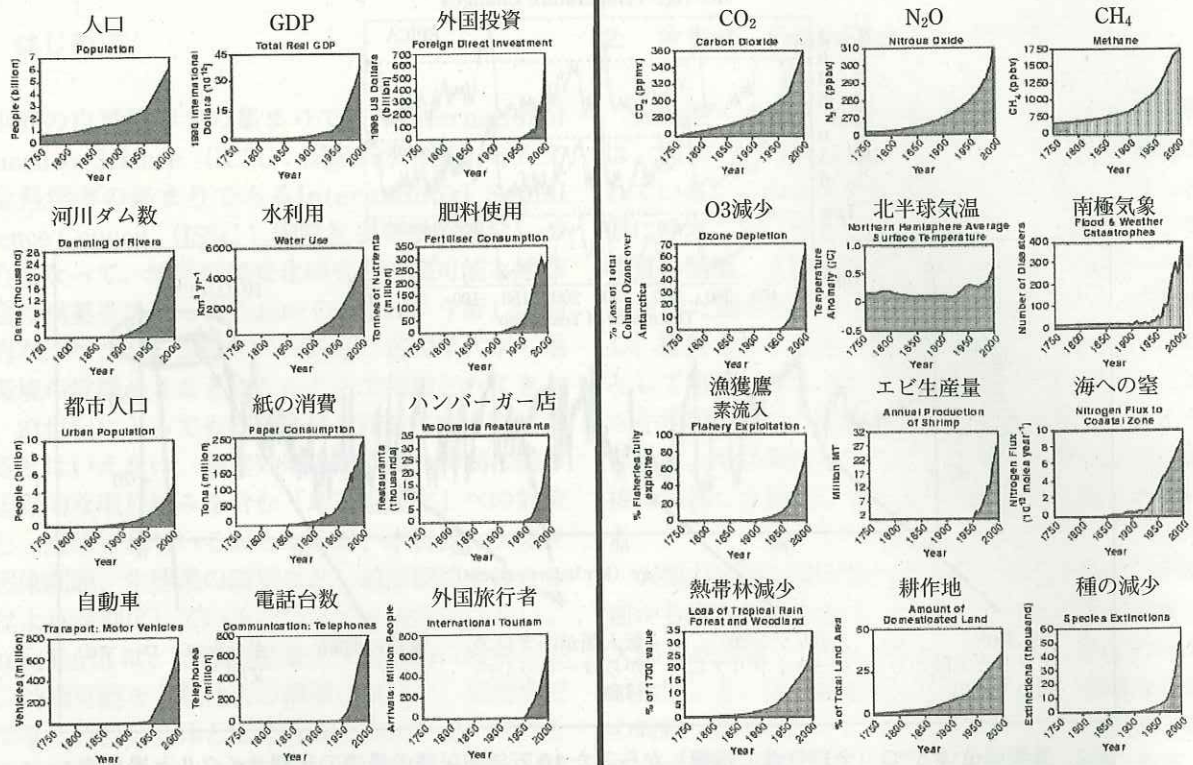


図3 1750年から2000年における人類活動のさまざまな指標の変化(左)と、地球環境の指標の変化(右)。

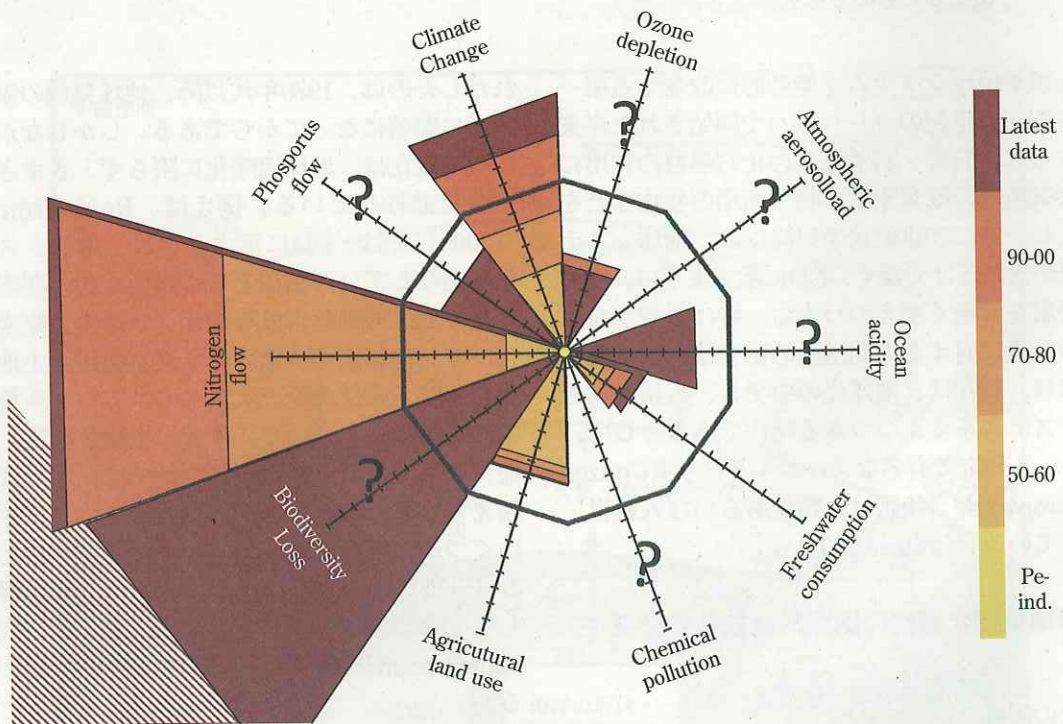


図4 地球環境の10の指標の、産業革命以前から現在(2000年前後)に至る時期で、それぞれの要素の「地球の限界」値(太実線)に対し、どの程度達しているかを、模式的に示した図。(Rockstrom et al., 2009)



組織と合同で、あるいは単独で、4つの地球環境変化研究プログラム(GECs)を立ち上げた。年代順には、WCRP(世界気候研究計画)が1980年に、IGBP(地球圏生物圏国際研究計画)が1986年に、DIVERSITAS(生物多様性科学国際共同研究計画)が1991年に設立され、最後にISSCとICSUの合同でIHDP(地球環境変化の人間の側面に関する国際研究計画)が1996年に設立された。これらのプログラムを通して、世界の関係研究者により組織的な研究プロジェクトが進められ、すでに多くの研究成果が出されている。例えば「地球温暖化」研究については、さまざまな不確定な問題も含みながら、WCRPやIGBPに関係した研究者を中心に組織されたIPCC(気候変動に関する政府間パネル)が、温暖化の実態と解明、予測、そして影響評価を進めている。

しかしながら、地球システムの構成要素は単独で成り立っているわけではなく、お互いに絡みあった複雑系としての地球システムを構成しており、ある要素だけを取り出しての研究では不十分である。したがって、この問題の解明には、多くの研究者コミュニティの連携・協働を進める必要であり、上記の4つのプログラムの連携・協働体制の強化が2001年のアムステルダムで開催された地球変化国際会議で初めて提案された。この提案は、地球システム科学パートナーシップ(ESSP)という4つのプログラムの弱い連携を図る枠組みとしてまず設立された。ただ、ESSPは独自の予算を持たなかったことなどから、その役割は限定的であった。Future Earthは、ESSPを再編し、学際的な研究をより強化するために、ICSUに加えISSCがプログラムを支える親組織として正式に加わった。さらに、環境研究の推進を進めてきた国際連合傘下の組織である国連環境計画(UNEP)、国連教育科学文化機関(UNESCO)、国連大学(UNU)、世界気象機関(WMO)に加え、主要な先進国の財政機関からなるベルモントフォーラム(Belmont Forum)と環境変化研究担当財政省国際グループ(IGFA)もFuture Earthの親組織に加わり、より強固な国際プログラムとして2013年春に正式に提案されることになった。

#### 4. Future Earth —地球社会の持続性へ向けて

地球システムが「地球の限界」近づきつつあるのではないかと、という懸念は、人類の生存基盤である地球環境の変化の実態を詳細に見守りつつ、人類がいかにこの変化に立ち向かい、人類と生命圏の持続可能な状態に転換できるかに向けた統合的な研究と方策の提案が喫緊の課題であることにつながってい

る。このような人類・生命圏の持続的な生存基盤の追求には、人類活動による地球環境への影響評価だけでは不十分で、どのような人類社会を目指すべきか、文明の在り方などの価値観を含む考究も必須であり、そのために自然科学と人文・社会科学との文理融合の学際的研究が必要である。さらに、持続可能な社会へむけた転換のためには、科学者その他のステークホルダー(政策担当者、実業者、市民など)との超学際的連携・協働が必要である。Future Earthはこのような学際、超学際的な連携・協働の枠組みとして設計されつつある。特に、超学際的連携・協働のために、これまでの科学研究プロジェクトでは考慮されなかった研究者コミュニティ以外のステークホルダー(政策担当者、経済界、市民団体など)も必要に応じて研究立案の段階や、研究成果の活用に積極的にコミットする(co-design & co-production)というアイデアも計画に入っている(図5)。まさに、「社会のための科学」として、global sustainability studyを位置付けているわけである。

このようなFuture Earth全体の構図は、図6にまとめられている。すなわち、人間活動と自然変動(Human and natural drivers)による地球環境変化(Global Environmental Changes)が人類の福祉・幸福(Human well-being)にどう影響するか。さらに人類の持続可能な福祉・幸福を達成するには人間活動をどうコントロールすべきかという図にあるような3つの要素のサイクルの最適化を地球システムの限界内でローカルからグローバルなスケールの範囲でめざすのがFuture Earthのめざすところであろう。このようなFuture Earth計画の国際的な遂行には、図7のような組織を提案している。これまでの地球環境変化研究プログラムとちがひ、科学委員会(Science Committee)だけでなく、社会のステークホルダーを代表する関与者委員会(Engagement Committee)を設立し、さらに全体を統括する統括評議会(Governing Council)を置くことを予定している。

当面10年計画として提案されているFuture Earthの初期設計報告は本年4月に出されている。詳細は、ICSUの以下のウェブサイトに掲載され、常にアップデートされている。<http://www.icsu.org/future-earth>

#### 5. アジアにおける Future Earth の重要性

##### 5.1 豊かなモンスーンアジア

まずもって理解しておくべきは、日本を含む東ア



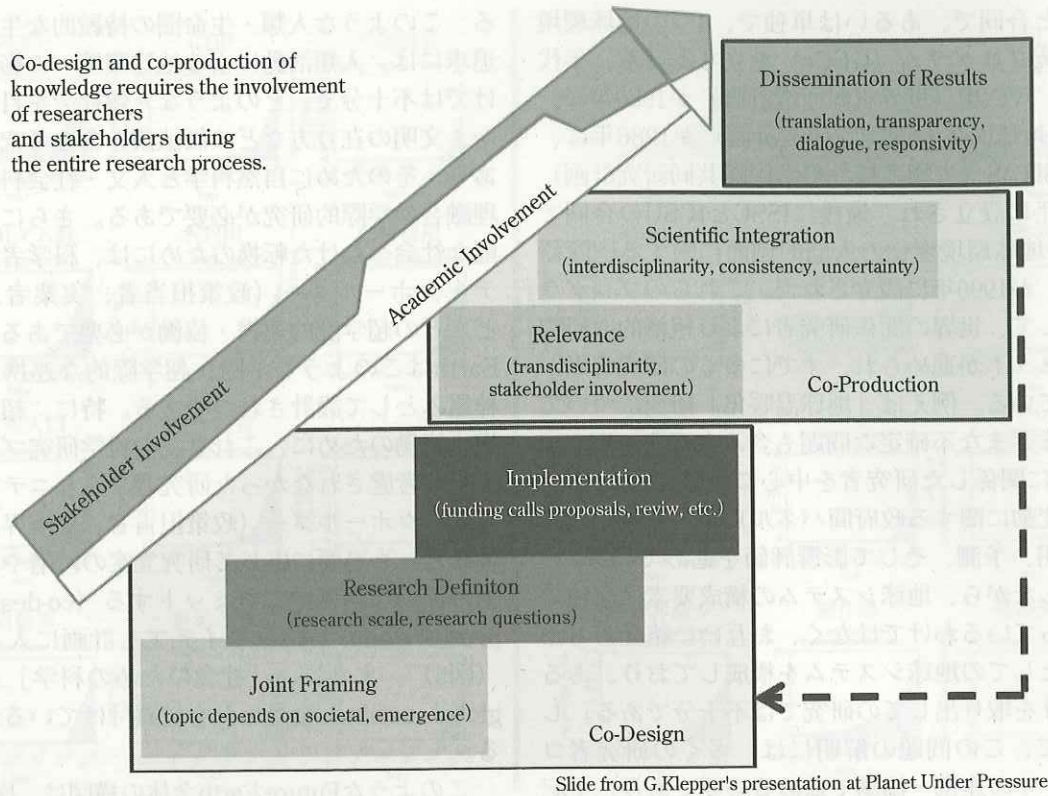


図5 Future Earthにおける研究プロジェクトの進め方を示すダイアグラム。  
Future Earth Draft Initial design report (ICSU, 2013) より転載。

アジア、東南アジアと南アジアにまたがるモンスーンアジアには、世界の人口の60%以上が集中しているということである。(ちなみに面積は、全陸地の15%弱程度である。)この高い人口の集中を可能にしている生業基盤は、狭い土地でも高い収量が可能な集約的な水田稲作農業であり、この農業を可能にしているのが、高い降水量(雨季には1000mm以上)が集中するモンスーン気候である。さらに、モンスーン気候とも相まって、地形の隆起、侵食、そして土砂の堆積が活発である。この地域の山々は常に削られ、そして川沿いの谷間には常に新しい土砂に覆われる沖積地が作られ、河川の下流には沖積平野やデルタが形成される。稲の起源と進化は、モンスーンアジアでの多様な気候・生態系の中に形成された沖積地で展開され、現在の水田稲作農業も、豊富な雨に加えて、このような地形的条件が重要である(虫明, 2006)。日本においても、水田は、約70%の面積を占める山岳地域にまるで神経網のように入りこんだ谷間の低地や沖積平野に、まさに「日本の原風景」を作るように広がっている。穀物自給率でも、この地域は、ほとんどの国で100%前後の高い自給率を示しており、例えば大部分の国々が50%を切っているアフリカ大陸の諸国とは対照的である。(日本のカロリーベースの穀物自給率は40%程度であるが、米に限れば95%以上を維持している。)モ

ンスーンアジアにおける近代化以前から封建国家体制と伝統文化の長い歴史は、まさにこの豊かな自然を背景にした持続性の高い水田稲作農業を基盤として成り立っていたといえる(安成, 2012)。

## 5.2 環境汚染が進むモンスーンアジア

いわゆる「グローバリゼーション」に伴い、近年の中国、韓国、インド、東南アジアの経済発展はめざましいものがあるが、それを可能にした基層には、上述のように、水田稲作農業を基盤とした伝統的社会的成熟があったと考えられる。一方で、急激すぎる経済発展と都市化、特に、図8に示すように、人口1000万以上の巨大都市の急激な増加に伴い、この地域での大気・水・土壌などの環境汚染の進行も世界の中で最も酷い状況にある。CO<sub>2</sub>などの温室効果ガスだけでも、モンスーンアジア地域での総排出量は2005年現在で、世界の30%を超え、北米地域、ヨーロッパ地域を凌いでいる。温室効果ガスのみならず、人為起源の(硫酸塩、硝酸塩、ブラックカーボンなどの)エアロゾルなどは、地球大気への最大の大量放出源になっている。例えば、図9では、ブラックカーボンによる放射強制力変化の分布を示している。これらの物質は、局地的な大気汚染に留まらず、地球表面への大気の放射収支を変化させることにより、全球的な気候やアジアモンスーン



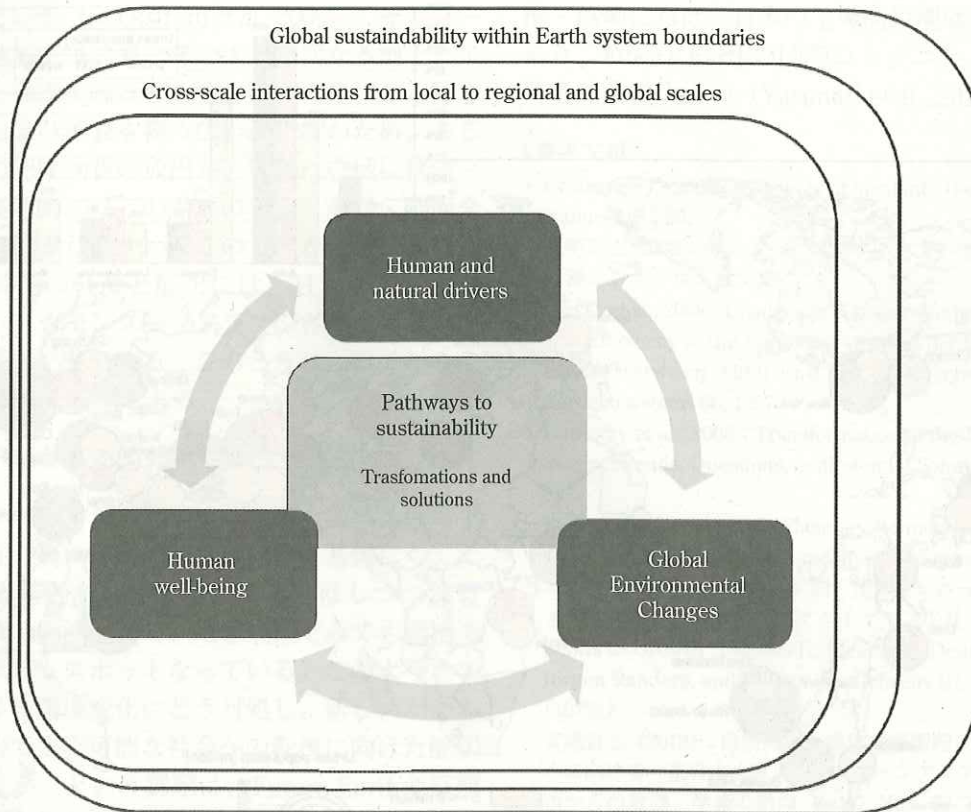


図6 Future Earthの全体の概念を示す模式図。

人間活動と自然変動 (Human and natural drivers)、地球環境変化 (Global Environmental Changes)、人類の満足できる状態 (human well-being) の間で、どう折り合いをつけられるかを、地球システムの限界条件の中で、ローカルなスケールから地球スケールで探求していくことで、最終的に持続可能な地球社会へ向けた道筋をつけることをめざしている。(ICSU, 2013)

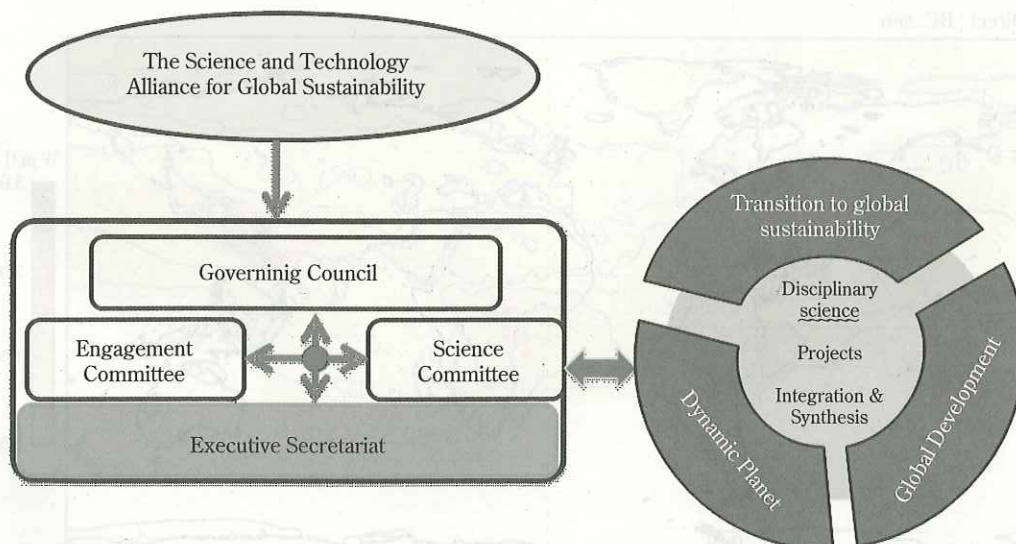


図7 Future Earth 計画実行のための国際的な組織案。(ICSU,2013)

気候そのものを変化させつつあることが最近の研究により指摘されている(須藤他, 2010など)。大量の化学肥料を用いた大規模農業化や工業活動、モーター化の急速な進展は、大量の窒素化合物

を河川・湖沼や土壌に蓄積させ、地域、国レベルにとどまらず、全球的な窒素循環に大きく変えつつあり (Galloway et al., 2008; Liu et al., 2008;)、全球レベルでみた地球環境の限界をすでに超えていると指



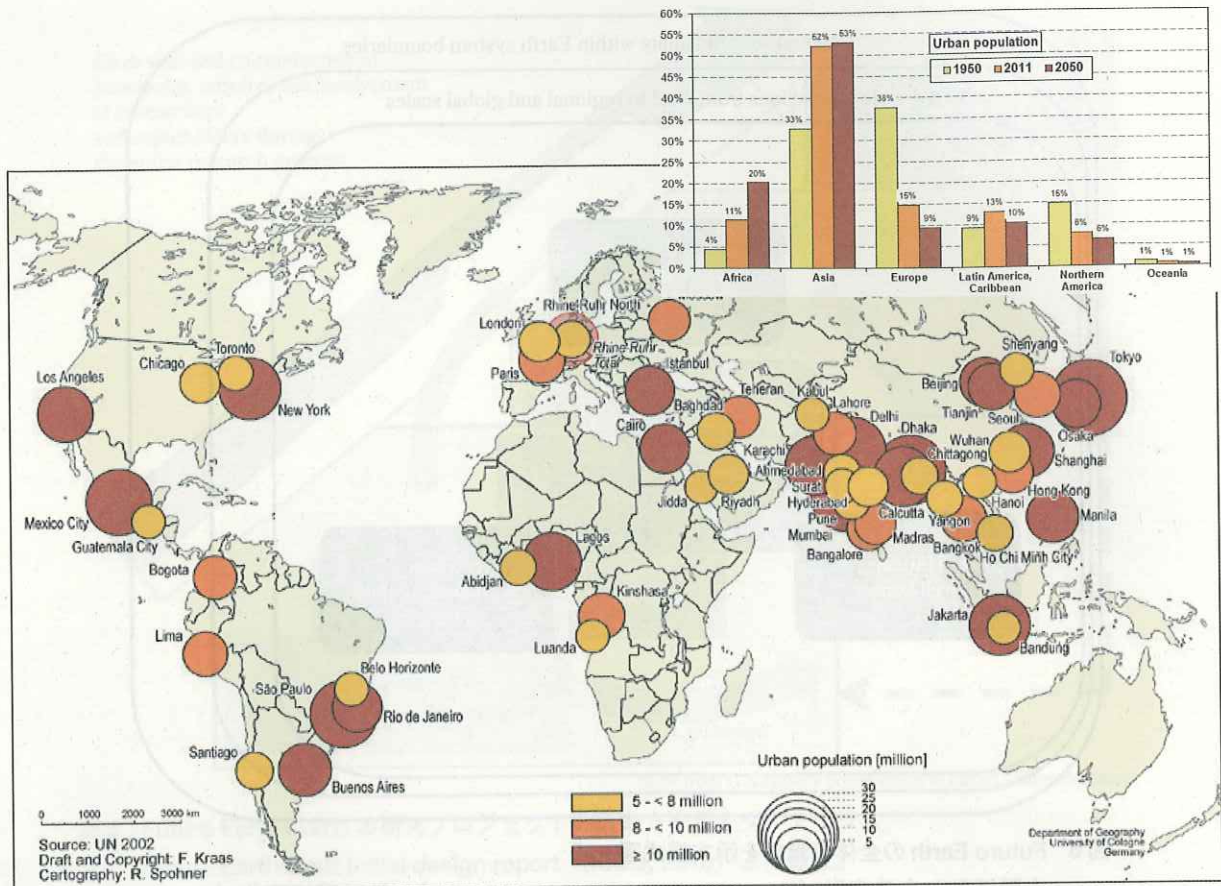


図8 世界の巨大都市の分布と、(右上)世界各地域における都市人口の推移(1950、2011、2050推定値)。分布図は、<http://www.megacities.uni-koeln.de/documentation/megacity/map/MC-2015-PGM.jpg> から引用。推移のグラフは、World Urbanization Prospects, the 2011 Revision (UN Department of Economic and Social Affairs) から引用。

Direct: BC. ann

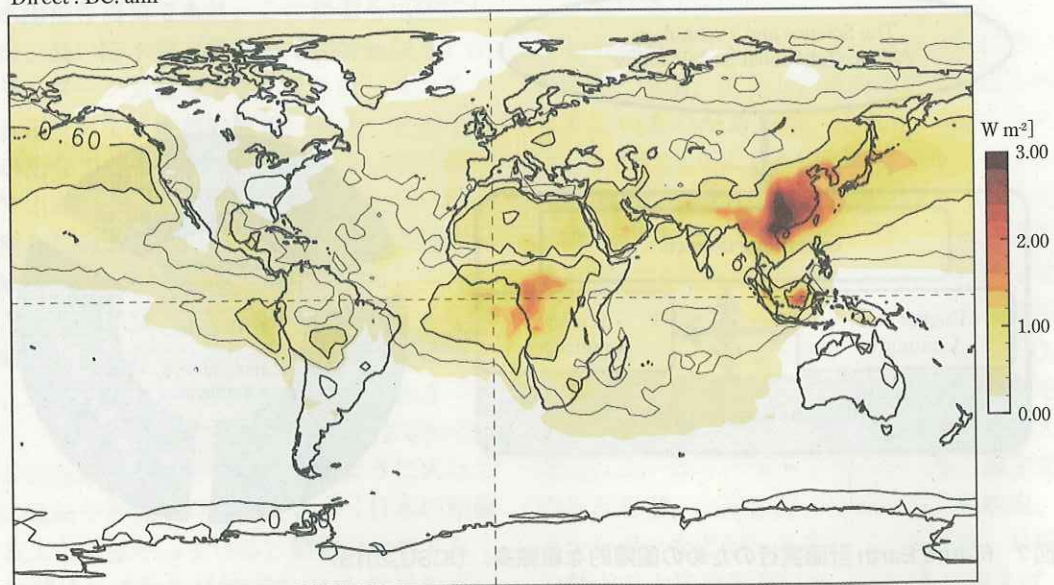


図9 煤 (black carbon) 汚染による1850年から2000年に至る放射強制力 (放射収支変化) の推定。正の値は、太陽放射を吸収する大気中の煤は汚染のない状態に比べ、大気を加熱する方向に働いていることを示す。(名大須藤健吾氏提供)



摘されている (Rockström et al., 2009)。モンスーンアジア地域では、夏と冬で大きく異なる地上と上空の風系と梅雨前線なども含む広域の連続した降水システムおよび地表を覆う広い河川網のため、ある地域からの汚染物質の放出が、容易に広域に移流・拡散し、長期的にはこの地域の気候・海洋・陸面全体に影響が拡がりやすい。このような気候・水(海洋)汚染問題の軽減と解決には、日本一国ではなく、少なくともモンスーンアジアの各国が協力して進める枠組が必要である。このことは、原発からの放射能汚染でも同様である。

### 5.3 アジアにおける持続可能な社会へ向けて

このように、アジア地域は、豊かな自然条件の下で、持続性の高い伝統的な生業社会を基盤にして、著しい経済発展をしてきた、あるいはしつつあるが、その負の側面として、地球規模でみても環境汚染の一大ホットスポットになっている。このようなアジアにおける環境変化にどう対処し、新しいかたちでの持続的で生存可能な社会への転換に向けた舵切りができるか、という課題は、Future Earthの目標とする地球全体の持続可能性の追求にとっては最も喫緊でボトルネックとなる問題であろう。日本はこのところ、経済発展ではやや停滞気味ではあるが、環境対策や省エネにおける「最先進国」として、また、伝統的な持続社会をかつて築いていた国である。この問題の解決に向けた国際的な共同研究と連

携・協働における日本の主導的役割は非常に重要であり、Future Earthの国際コミュニティにおける期待も非常に大きい (Yasunari et al., 2013)。

#### 《参考文献》

- ・ Crutzen, P.J. (2002). "Geology of mankind: the Anthropocene". *Nature* 415: 23.
- ・ 虫明功臣, 2002: モンスーンアジアの水文の水資源. 第6回水資源シンポジウム論文集.
- ・ Liu, C. et al., 2008: Changes in Nitrogen Budgets and Nitrogen Use Efficiency in the Agroecosystems of the Changjiang River Basin between 1980 and 2000, *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 80, 1937.
- ・ Galloway et al., 2008: Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential Solution. *Science*, 889-892.
- ・ Rockström, J. et al., 2009: Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*, 14(2)
- ・ ローマ・クラブ (1972): 「人類の危機」レポート-ドネラ・H・メドウズ著、大来佐武 監訳 ダイヤモンド社 (英文原本 "The Limits to Growth" Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jorgen Randers, and William W. Behrens III, Universe Books (1972))
- ・ 安成哲三 (2012): 自然災害と地球環境問題の総合的な取り組みに向けて—東日本大震災とモンスーンアジアにおける環境問題からの教訓 学術の動向 vol17, No.8. 53-59
- ・ 須藤健吾他 (2010): 植生変化・エアロゾル複合効果がアジアの気候に及ぼす影響の評価 *低温科学* 68, 129-136
- ・ Yasunari, T. et al. (2013): *Asia: Proving Ground for Global Sustainability. Current Opinion in Environmental Sustainability (in revision)*