

地球環境問題はどう解決できるか —Future Earth の取り組みについて

安成哲三

人類が大きく変えつつある地球

私たち人類の直接の祖先であるホモ属は約250万年前に現れ、寒冷で変動の激しい第四紀の氷河時代を生き抜いてきたが、約1万年前からの完新世(Holocene)の比較的暖かい気候の下で農業革命を起こし、人口増加と共に都市文明を大きく発展させた。しかしそれは同時に、人類が地球環境を変化させることの開始でもあった。特に18世紀末に産業革命が起こって以降の地球環境変化の進行は非常に速く、地球全体に大きな影響を与えるに至っている。たとえば地球大気のCO₂濃度は、完新世の開始以来ほんの1万年間、280 ppm程度で安定していたが、19世紀後半以降増加の一途をたどり、特に

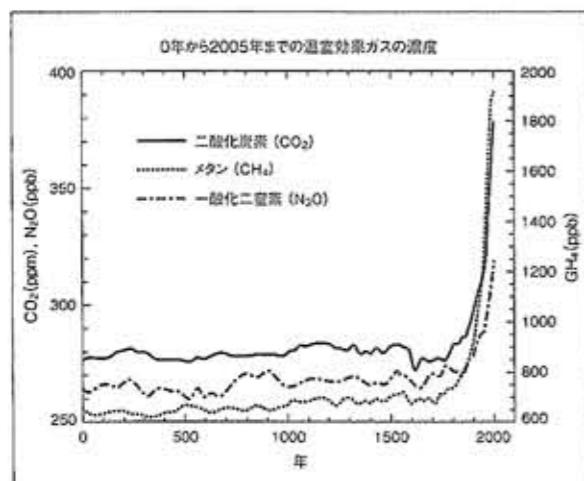


図1 過去2000年間の重要な長寿命温室効果ガスの大気中濃度。

1750年頃からの増加は工業化時代の人間活動に起因する。濃度の単位は100万分の1(ppm)あるいは10億分の1(ppb)で、大気分子それぞれ百万個あるいは十億個中の温室効果ガスの分子数を表す。

20世紀後半の増加は著しく、現在すでに400 ppmを超えており（図1）。IPCCは、このCO₂を中心とする温室効果ガスの増加により、19世紀後半以降全球の年平均気温は1°C程度上昇していると報告している（IPCC, 2013）。温室効果ガス増加による地球温暖化に加え、加速的に拡大する工業活動による大気汚染・水質汚染が地球規模で進行している。北米、ヨーロッパ地域、日本などの先進工業国では、1970年代以降の大気・水質汚染対策の強化によって汚染は大きく抑えられてきたが、人口増加や急激な経済成長が進行中の発展途上国における汚染は、20世紀末以降むしろ深刻化しており、大気・海洋汚染などは全球的に進行している。温暖化など気候システムの変化や環境汚染だけではなく、生態系もすでに大きく変化してきている。人口増加に伴う人間活動域の拡大や地球温暖化によって消滅した生物種の数は、1980年頃から急激に増加している。産業革命以降に失われた生物種はすでに5万種にも上っており、生態系の劣化は、農業を含めて人類が生物圏から受けている恩恵（生態系サービス）に深刻な影響を与えつつある。

このように、大気圏・水圏・生物圏を含む地球システムは、特に産業革命以降の人間活動により、過去約1万年間続いた完新世の比較的安定していたシステムから、大きく改変されたシステムに変化しつつあり、もはや完新世ではなく「人新世（人類世）」(Anthropocene)という新しい地質時代に入ったという指摘もされている（Steffen et al., 2007）。いざ

れにせよ、人類は今、自らの生存基盤である地球システムそのものを自らで変えつつあり、人類史での大きな歴史的転換点に立っているといえる。

地球の限界と人類の危機

IPCCは、温暖化対策なしにCO₂が増え続けば今世紀末（2100年）には、地球の気温は4°C程度上昇し、夏の北極の海水は2050年頃には消滅する可能性があり、仮にこれ以上温室効果ガスが増加しないよう、可能な限りの対策を施しても、2100年には1°C程度の上昇は避けられないと予測している。また地球温暖化の影響で、気温だけでなく降水量の地域的な大きな変化や異常気象の増加も予測されている。図2は、地球システムを構成する重要な9つの要素が、完新世における地球レベルでの平衡状態が維持できる限界（planetary boundaries）を超えて臨界点（tipping points）に達しているかどうかを示している（Steffen et al., 2015）。気候変動だけではなく、生物圏（生物多様性）の変化や窒素負荷などの生物化学的循環については、すでに限界を超えており、地球システム自体が変わりつつあるという可能性も指摘されている。このような事態がもし生じれば、人類文明の存続、持続性にとって大きな脅威あるいは危機であるが、果たしてどうなのか。他の要素も含め、複雑な地球システムの統合的理解が必要である。

ここで重要な点は、人間活動の地球システムへの影響は、気候変化、生態系の変化、物質循環の変化などが、相互に複雑に絡んでいることである。このような相互作用も含めて、地球システムを個別的に評価するのではなく、統合的に理解し、定量的に評価することが、今後の地球環境変化的理解と予測には欠かせない。

地球システムの維持と人類の持続可能な発展に向けて

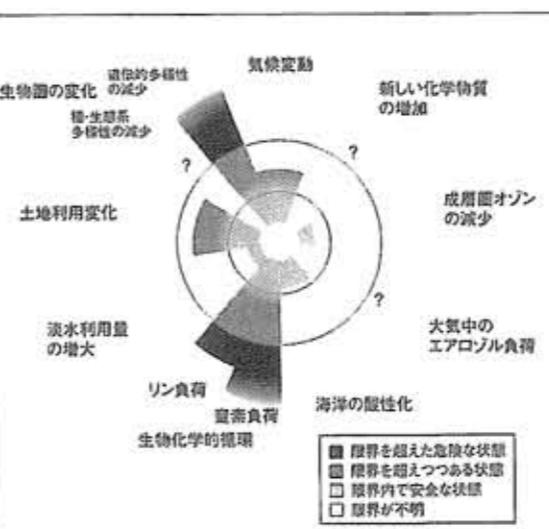


図2 地球・人間システムの状態を示すいくつかの指標
生物多様性の減少、気候変化、窒素循環は、安定状態の限界を越えている。他の要素についても、近い将来限界を超える可能性が指摘されている。図中の?印は、データの不足などで限界が不明な要素を示している。出典：(Steffen et al., 2015)

PROFILE

安成哲三（やすなり てつぞう）

■日本学術会議連携会員
■総合地球環境学研究所長

専門 気候学、気象学、地球環境学



その持続性にも視野を広げ、人間と自然の相互作用に関する様々な要因を、人間活動を含めた地球システムとして統合的に解明する必要がある。

このような地球システムの統合的理解と、人類がめざすべき未来の地球社会像の共有、そしてそれを踏まえた持続可能な社会を実現するためには、地球環境に関する革新的な研究はもちろんのこと、文理の壁を越えた学際（interdisciplinary）研究を飛躍的に進め、さらに、個別の研究者コミュニティの視野の限界を克服するために、問題の発見から解決（持続可能な社会の実現）にいたる研究の全過程を、社会各層の関係者と協働でデザインする超学際（transdisciplinary）研究の推進体制を構築する必要がある。Future Earth（FE）はこのような課題に取り組むことにより、地球に依存する私たち人類社会の持続可能性を追求するために提案された。

FEの特徴は、自然科学（理工学、農学、医学など）、人文・社会科学にまたがる学際的研究により地球と社会についての知の提供を行うだけでなく、研究者コミュニティと社会の様々なステークホルダー（国際援助機関、政策担当者（政府／地方自治体）、研究資金提供者、産業界、メディア、市民団

体など）との超学際的な連携（協働）を通じて、持続可能な社会へむけた転換をめざすところにその特色がある。「超学際（transdisciplinary）」という表現は、学術コミュニティと社会の連携・協働で進めようとするFEのキーワードとして用いられている。即ち、研究者コミュニティと社会の様々なコミュニティが、問

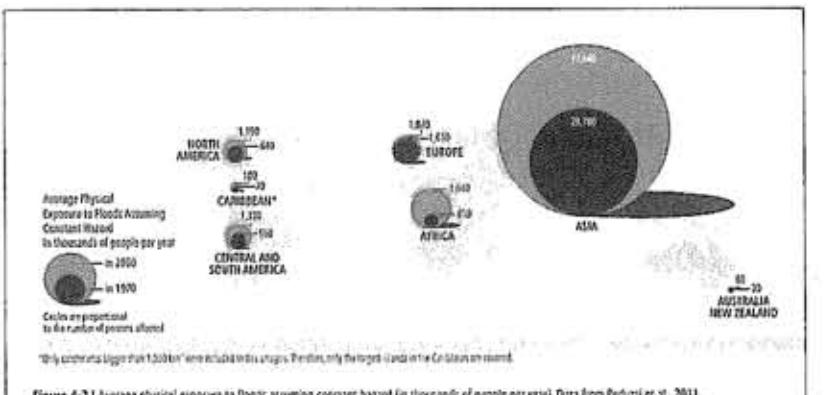


図3 (a) 地球温暖化に伴う水災害の影響を被る人口（単位1000人）の変化の地域的比較

1970年での実況と2030年における予測値を比較している。アジア地域が圧倒的に多いことが分かる。元データはPeduzzi et al. (2011)を使用。(IPCC, 2012)

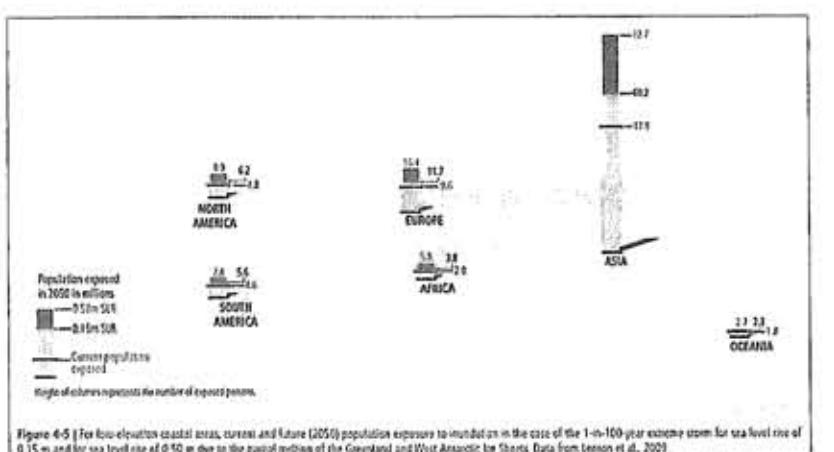


図3 (b) 地球温暖化に伴う海面上昇の影響を被る人口の変化の地域的比較

現在での実況と2050年に、100年に1回の大気低気圧が来襲した時に影響を受ける沿岸域における被災人口（単位1000人）を比較している。下の線が現在、オレンジ色の上限が0.15 mの海面上昇の場合、一番上の線が、0.5 mの海面上昇の場合の推定人口。データは、Lenton et al. (2009)を利用。(IPCC, 2012)

題に対し共通の視点を共有しつつ、研究の立案の段階から成果の普及に至るまで協働することにより、問題解決に向けた新たな知の創出と統合を進めるという、協働企画・協働生産のプロセスを重視するところにある。このためには、研究の目的や方法を社会と共有する必要があり、これが19世紀から続いてきた「科学のための科学」とは大きく異なる点である（日本学術会議 2016）。日本では、3.11の東日本大震災をきっかけに、防災・減災の側面からも、この「社会のための科学」への転換が問われている。

自然災害と地球環境問題の同時的解決が必要なアジア

ところで、アジアは広域大気汚染や熱帯林破壊に伴う生物種の絶滅などの地球環境問題のホットスポットであるが、同時に、台風や豪雨災害、地震・津波や火山災害などの自然災害でも、世界の中心地域である。複雑で非線形な地球システムでは、（様々な空間スケールで）長期的変動と短期変動（突発事象）の間での相互作用がありうるため、より時間スケールの長い環境問題と突発的に起こる自然災害は、実はお互いに密接に連環している場合が多い。たとえば、ひとつの極端現象（e.g. 森林火災、洪水、地滑り、大地震など）に引き起こされた自然災害が、人間活動に由来する長期的な環境変化（e.g. 砂漠化、生態系変化、気候変動など）のきっかけとなったり悪化させたりする可能性がありうる。一方で、温室効果ガス増加に伴う地球温暖化は、豪雨や干ばつなどの極端現象（の増加、激化）を引き起こす可能性が高いことはIPCC（2013）でも指摘されている。現実に過去数十年、アジアでは全域で

豪雨の頻度が増加している。一方で、人間活動が引き起こす社会構造変化（e.g. 巨大都市化、大規模な土地利用変化）に伴い、図3に示すように、豪雨などの極端現象に対する脆弱性や海面上昇に伴う沿岸災害の影響を受ける人口は、アジア地域で圧倒的に多くなることが指摘されている（IPCC, 2012）。2016年4月に出されたFuture Earthの推進に関する学術会議の提言では、日本やアジアで進めるべきFuture Earthの課題の一つとして、多発・集中する自然災害への対応と減災社会を見据えた世界ビジョンの策定を掲げている。アジアは元々災害の多発地域であることに加え、世界の60%以上の人口の集中、急速な都市化や経済活動の拡大などの人間活動が様々な新しい問題を起している。アジアでの持続可能な生活圈を築くための防災・減災設計を、地形・気候・生態系を積極的に考慮した社会設計として行い、100年以上の時間スケールでの未来可能性社会を長期的視野で策定することは、アジアでのFuture Earthの大きな課題である。

参考文献

- IPCC 2013: Climate Change 2013: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Steffen et al., 2007: The Anthropocene: Are humans now overwhelming the great forces of Nature? Ambio 36, 614–621 (2007), doi: 10.1579/0044-7447(2007)36.
- Steffen et al 2015: Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science, DOI: 10.1126/science.1259555, Science 347.
- 日本学術会議 2016:「提言 持続可能な地球社会の実現をめざして—Future Earth（フェューチャー・アース）の推進」、2016年4月。
- IPCC, 2012: Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 1-19.