

地球・地域社会の超長期的な未来可能性をめざして

—「気候変動の緩和・適応」から「気候・生物圏の共生」へのパラダイム転換を

Toward Ultra-Long-Term Sustainable Future of Global and Regional Societies: A Paradigm Shift from 'Climate Change Mitigation and Adaptation' to 'Climate and Biosphere Coexistence'

安 成 哲 三

Tetsuzo YASUNARI

要 旨

現在の緩和策も適応策も、気候変動に対し、より強靱で未来可能な社会はどうあるべきかという論考ぬきに、それぞれに設定した目標だけを見てなされている。社会のあり方より統合的な変革の実現は、生物圏を人類社会が大きく依拠してきた生存基盤であり気候と密接に相互作用する気候・生物圏共生系として扱い、その系と調和した地球社会、地域社会を創出できるかにかかっている。そのための具体策として、大都市とその周辺の農山漁村域をつなぐ地産地消型の地域流通圏を基本とした地域循環共生圏の形成と、それらのネクサスの連携の構造を発展させることが重要である。

キーワード 未来可能な社会、気候変動の緩和と適応の統合、変革の適応、気候・生物圏共生系、地域循環共生圏

はじめに

気候変動（地球温暖化）に対処する問題では、脱炭素を目指す「緩和策」と、気候変動に伴う社会・自然系へのさまざまな影響を抑え、あるいは順応していく方策を目指す「適応策」に分けられて議論が進められている。これら二つは気候変動への対策の両輪とも位置づけられている。しかし、数十年から百年以上先の超長期的な豊かな地球社会の未来を視野に入れた時、

人類がその生存を依拠する大気圏・地圏・水圏と生物圏（生命圏）の維持と保全をどう図っていくか、そのためには人類社会はどうあるべきか、という基本問題への真摯な取り組みこそ重要であり前提の議論のはずである。「緩和・適応パラダイム」ともいえる現在の緩和策と適応策という分断的な問題設定は、この基本問題をむしろ見えなくしているともいえる。本稿では、特に、生物圏の維持・保全を柱にした、より（超）長期的な未来可能な地球・地域社会への道筋を提案する。

1. 気候変動における緩和策と適応策は車の両輪か

1.1 緩和策の問題

COP21 でパリ協定（2015）が締結されて以降、世界各国は、地球表層の平均気温上昇を産業革命以前と比べ、2℃（できれば1.5℃）以内に抑える努力をすること、そのために、今世紀後半に温室効果ガスの実質排出量をゼロにする（脱炭素／ゼロエミッション）目標が設定された。わが国でも自治体や企業でこの目標が「気候変動緩和策」の柱になっている。それ自体は、省エネと再生エネルギー増加を促進してきた側面もあるが、数値目標の達成可能性のみが先行し、今後の持続可能（あるいは未来可能）な地球および地域社会はどうあるべきかという議論が非常に希薄になっている。例えば国レベルでは、脱炭素のみが目標となったGX（グリーン変換）経済やデジタル技術推進（DX）のために増えるとされる電力需要を、既存の電力網を

* やすなり てつぞう：総合地球環境学研究所 顧問・名誉教授
京都気候変動適応センター長

前提に、再生エネルギーではなく、原発エネルギー比率を増加させることで賄うという第7次エネルギー基本計画が今年2月に策定されている。ただ、福島原発事故の最終処理も遅々として進んでおらず、使用済み核燃料の処理問題も解決していない状況で、また地震・津波などの自然災害の高い日本列島で、原発エネルギーを増加させることが長期的に持続可能な方策であろうか。天候変動に支配されやすい再生エネルギーは、既存の大手電力会社による電力系統に頼る限り、化石エネルギーや原発エネルギーよりも不利な立場にあることは確かであるが、例えば各地域の自治体や企業は、遠隔地の再生可能エネルギー発電会社（PPA事業者）からの電力を、小売電気事業者経由で、より安定的に供給を受けられる地産地消型エネルギーシステムを発展させるべきではないか。

1.2 適応策の問題

総合地球環境学研究所（地球研）は京都府・京都府と合同で2021年7月から京都気候変動適応センター（KCCAC）を立ち上げ、近年の気候変動や異常気象が京都府（市）地域での自然生態系や農林水産業、都市域での経済・社会・文化・教育活動などにどのような影響を与えており、どのような適応策が可能かなどの基礎調査を、一部環境省からの経費を受けて進めてきた。その中で、IPCCによる気候温暖化予測結果に基づく今世紀末までの稲作の収量予測を行ったこれまでの研究（eg., Ishigooka *et al.*, 2017; 2021）では、京都地域でもかなりの減収となるという結果が出されていた。農業分野での「適応策」では、このような収量予測結果に対応した高温に強い品種の改良などが主流である。ただ現場の農業行政関係者からは「そのような収量予測結果を現場の農家さんに伝え、『ならば、もう農業は止めるしかないね。』という返事しかありません。」と釘を刺された。

日本の農業は、高齢化や担い手不足、低く抑えられている米価などの問題を抱えており、気候変動適応策は、このような日本の農業が抱える社会・経済的な問題との関連を抜きに進めるべきではない。KCCACでは、このような状況を踏まえて、現場の農業従事者、農業行政者、企業関係者に研究者が加わって、「京都の農業の将来を考える」ワークショップを、フューチ

ャーデザインという新しい社会科学的手法を用いて行い、結果をまとめつつある（Ichihara *et al.*, 2024a; 2024b）。これまでの高度成長経済のしわ寄せとして疲弊してきた農業システムや農村社会を、より未来可能なかたちに変革する一部として気候変動への適応を考えるべきであろう。

熱中症対策も特に大都市では大きな課題となっている。京都市でも熱中症搬送者数が酷暑日の発現日数と密接に関係して変動していることが分かった（安成・何, 2025）。ただ、搬送者数の増加は、ハザードとしての気象条件だけでなく、特に暑熱に弱くケアが不十分な後期高齢者が多数を占めているという社会の抱える脆弱性が、大きく関わっていることも明らかになった。温暖化に伴う熱中症対策には、クーリングシェルターを設けるという対症療法よりも、家にエアコンがない、あるいはあっても適切に使えない（使わない）高齢者が多いのはなぜか、という大都市での高齢者ケアや貧困化の問題の解決を含めた適応策を考えるべきであろう。

1.3 「人新世」における気候変動の緩和と適応

「緩和」と「適応」と分けている現在の気候変動（地球温暖化）対策には、大きな限界がある。「緩和」策は、自治体レベルなども含め、どの国も、2050年に脱炭素を目指し、そのためには何をすべきかという問題に特化している。一方で「適応」は、脱炭素ができて、すぐに温暖化は収まらないので、その対策も考えようという「緩和」策の補完物的位置づけとなり、目標も明確ではなく、温暖化に対するその場しのぎの対症療法という見方がされがちである。結局のところ、現在の緩和策も適応策も、気候変動に対し、より強靱で未来可能な社会はどうあるべきかという論考ぬきに、それぞれに設定した目標だけを見てなされている。特に、「緩和」と「適応」の具体策間のトレードオフをどうするかという視点が欠落している。現在、「人新世」とは何か、についていろいろな議論がされているが、人類が農業を始めてから人口を増加させ、特に18世紀後半以降の産業革命と資本主義経済の「発展」という人類の営為が、現在の気候危機や生態系の劣化など地球規模の自然環境の悪化をもたらし、人類そのものの存在も危うくしている、というあたりが共通の

理解であろう。だとすると、これらの危機を招いた過去の発展経路をいかに変革して、人類の「意味ある生存」を持続させることが可能か、という命題のはずである。緩和策と適応策の間のトレードオフが解決しにくいのは、これまでの発展を担ってきた企業体の価値観や行政組織における縦割りなども大きく関わっている。脱炭素のみを目標とした「緩和」や気候変動への対症療法を柱とした「適応」は、社会のあり方の変革も含めた「変革的適応 (Transformative Adaptation)」(e.g., Fedele *et al.*, 2019; Filho *et al.*, 2022) として、より統合的に社会の新しい発展経路を目指していくべきであろう。そのような変革を実現するには、生物圏を、単に地球システムの一つの要素ではなく、気候・生物圏共生系として人類社会が大きく依拠してきた生存基盤として位置づけるべきである。次章以下ではそのことを詳述したい。

2. 生物圏 (生命圏) と共に生きる

2.1 地球気候における生物圏の重要性—気候・生物圏相互作用系

地球気候を決めている大きな要素が、大気に温室効果をもたらしている CO_2 であり、その量を決めているのが地球システムにおける炭素循環である。図1は現在の地球表層システムにおける炭素循環 (フローとストック) を示している。地球温暖化をもたらしてい

るプロセスは、この図の左端の人間活動により大気に、毎年「化石燃料」と「森林の減少」により、毎年7単位 (1単位 = 10億t) が大気に付け加わり、温室効果を強化していることが大きな問題となっている。この7単位を直接人の手で失くそうというのが、脱炭素を目指す「緩和」である。しかし、この図からも分かるように、炭素循環の圧倒的に大きな部分は陸上の植物体と海洋の植物プランクトンによる吸収と放出であり、それぞれ100単位、90単位レベルで大気との炭素のやり取りを自然のプロセスとして行っており、現時点では、陸上で2単位のネットの吸収、海洋でも2単位の吸収をしている。その結果、人間活動により大気に放出された7単位のうち、陸上の生物圏では2単位、海洋の生物圏では2単位が吸収されるため、大気中の炭素は毎年3単位の増加に抑えられている。言い換えれば、陸上と海洋の生物圏の光合成活動が、例えば温暖化や海面水温変化など、何らかの人間活動の影響で弱められれば、大気中の炭素 (CO_2) はさらに増加してしまうことになる。生物圏での炭素循環はそのストックやフローを通した大気とのやりとりの量も非常に大きく、単に気候温暖化の影響を受けるというより、循環そのものの状態と変動を大きくコントロールしている。

さらに強調すべきは、生物圏は炭素循環だけでなく、水・エネルギー循環を大きく支配することで地球

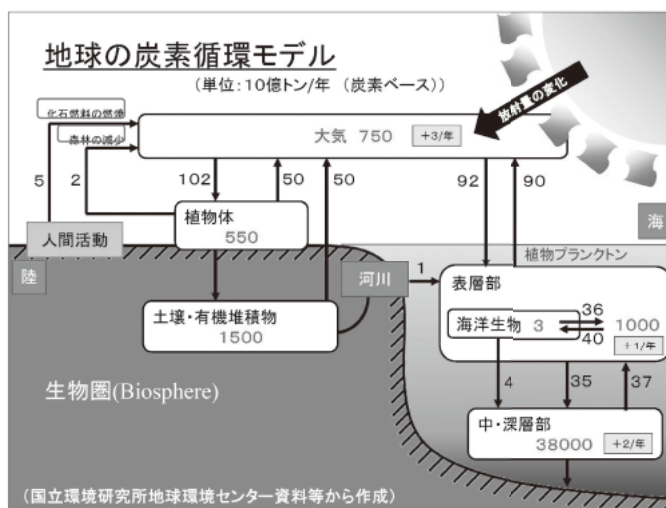


図1 地球の炭素循環の模式図

出所) 国立環境研究所地球環境研究センター資料から作成。

気候の状態を決める主要因の一つとなっていることである。図2は、地球の気候システムとその中で水・エネルギー循環を鉛直1次元で模式的に示した図である。地球大気鉛直構造での大きな特徴は、地表付近から約10数km程度までの大気対流・混合が活発な対流圏とその上の温度が高く比較的安定した成層圏(10数~50km)の存在である。私たち人間を含む生物の生存には酸素が必要であるが、その酸素は植物の光合成により創られている。さらにすべての生物の生存には水が不可欠であるが、その水はその三相(気体・液体・固体)の間で相変化しながら対流圏内で維持され循環している。対流圏上の成層圏は、対流圏から運ばれた酸素が太陽光の中の紫外線によって分解されてオゾンとして再合成され、暖かく安定したオゾン層が形成されることにより維持されている。水が対流圏と地表面の間で閉じた循環系として維持できているのは、対流圏が成層圏によってフタをされた構造になっているからである。すなわち、生物圏自身が酸素を創り出し成層圏を形成し、自らに必要な水を地表面と対流圏に保持していることになる。同時に成層圏(オゾン層)は生物にとって有害な紫外線をカットする役割も果たしている。現在の地球大気圏下部(対流

圏・成層圏)の仕組みは、生物圏自身が、自らの存在のために長い進化過程で形成し維持してきた構造ともいえる。すなわち、地球の気候と生物圏はまさに相互作用系と理解すべきである。

2.2 地球気候と生物圏の共進化

では、地球の生物圏はどのように進化して、現在の状態になったのだろうか。詳細は他の文献を参照していただきたいが、ここでは、地球気候の指標としての気温とCO₂のみに着目する。地球史46億年の気候の変化・変動を振り返ると、恒星としての太陽の進化に伴い、地球表面への太陽光強度は1~10億年スケールで少しずつ強まっており、超長期的な「地球温暖化」は、未来に向けても避けられない中で、生物圏は大きな役割を果たしてきた。図3には、生物圏が陸上にも成立して以来過去約5億年の大気中のCO₂濃度(上)と地球表面の平均気温(下)の変化が示されている(IPCC, 2021)。この図を巨視的に観ると、地球の生物圏は、石炭紀の巨大植物群の進化に伴う光合成活動の強化などで大気中のCO₂を2000ppmレベルから200ppmレベルに減らし、平均気温を現在より数度℃高かったレベルから現在のレベルまで下げる方向で進化しつつ、地球気候を生命にとってハビタブル(生存

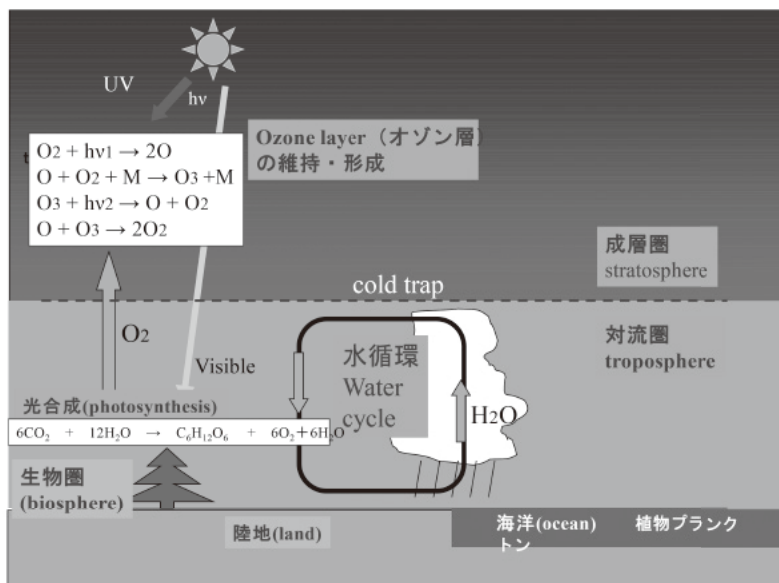


図2 地球気候システムの大気圏鉛直構造の模式図

注) 太陽光の元での対流圏、成層圏の構造と生物圏および水循環の関わりを示す。
出典) 安成哲三『地球気候学』東大出版会(2018)。

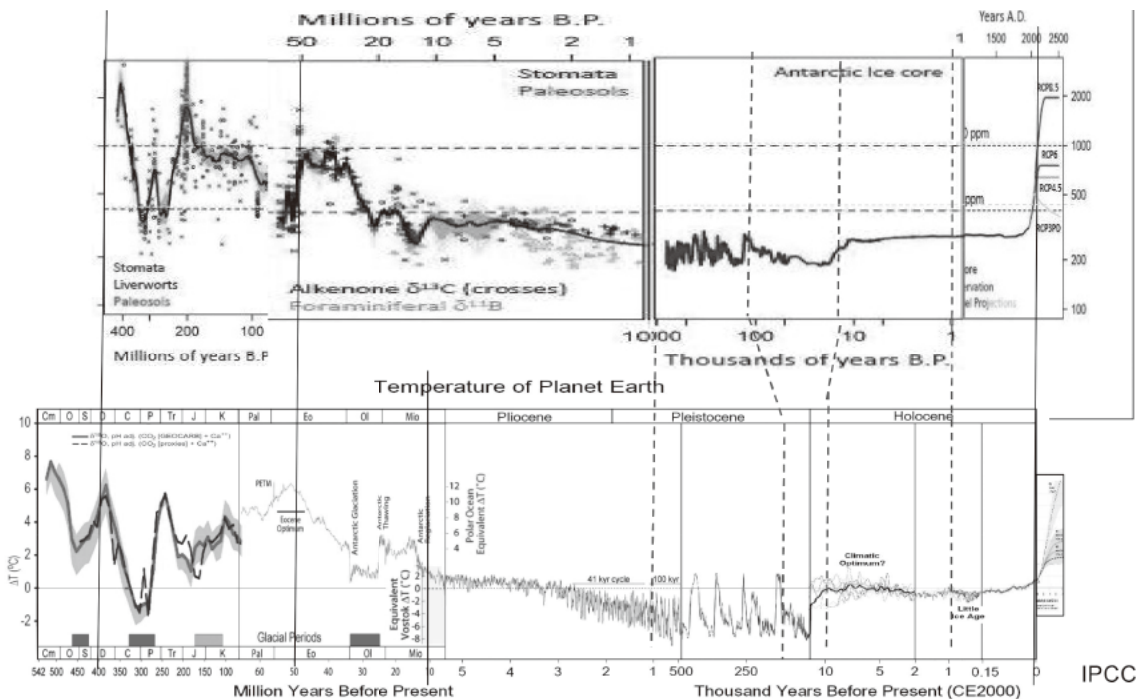


図3 過去4億年(十将来)における大気中のCO₂濃度(上)と気温(下)の変化 出所) IPCC (2021)

可能)な惑星として維持してきたことがよく分かる。そして未来の地球も、太陽光強度がさらに強くなっていく中でも、このような生物圏全体の機能が健康である限り、あと数億年から10億年は、存続可能と予測されている(Caldeira and Kasting, 1992; Lenton and Bloh, 2001; Franck *et al.*, 2006)。

ただ、過去約5億年間には、5回の生物群の大量絶滅イベント(地質学的事件)があった。図3では、CO₂濃度と気温がピークになっている時期に対応している。大量絶滅は、巨大隕石の衝突や大陸移動に伴う地殻変動や火山活動の活発化などが引き金となった、急激な気候変化や海洋系の変化などに因っている(安成, 2018など参照)。生物群の大量死滅の直接的な原因は、CO₂増加による高温や大気・海洋中の酸素濃度低下などで、2.5億年前のイベント(ペルム紀の絶滅)では、80%以上の脊椎動物群が死滅したといわれている。このような劇的な気候・環境変動に耐え、適応した生物群が、次の生物進化を担ったことになる。

2.3 生物圏と人類の未来可能性

約300万年前頃から現在まで、地球気候は寒冷化に

向かい、時に気温が2℃程度低下した氷期も含めた氷河時代(Ice Age)となっている(図3参照)。この時代は万年スケールの地球の公転軌道要素の変化による地球表面への太陽放射分布の変化や氷床拡大によるフィードバックが働いた氷期・間氷期サイクルを伴っており、地球史でも氷河時代は何回か生じている(安成, 2018など)。ここで注目すべきは、人類はこの氷河時代に劇的に進化していることである。私たちホモサピエンスは、北半球の大氷床が後退し比較的温和で安定した気候の間氷期(完新世)が始まった約1万年前以降に、さまざまな地域の気候とその自然変動に「適応」しながら居住地域を広げていった。特に、生物圏に手を入れることで穀物生産を可能にした農業の発明により、人口増大を可能にした。その意味では、「人新世」は農業を開始した数千年前にすでに始まっていたともいえる。

さて、図3の時間軸の一番右端、すなわち、現在から未来について、IPCCのいくつかのCO₂シナリオに基づく気温変動の予測値も示されている。例えば、(まったく人為的なCO₂制御をせずに、business-as-usualに増やしていく)RCP8.5シナリオに基づく、

2100年頃には、CO₂濃度は5億年前に近くなり、気温も4℃を超え、ペルム紀の絶滅イベントに匹敵する気候になる可能性を想像させる値となっている。人新世がこのまま拡大すると人類を含む生物の「第6次大量絶滅」が起こるとの指摘も決して絵空事ではない。だから「緩和策」による脱炭素こそ重要だとの声も聞かれそうだが、それは人間活動が排出しているCO₂のみを減らすことなく、図1や図2でも強く示されるように、生物圏全体が、現在のまま、あるいは現在以上に「健康」に機能していることが大前提なのである。人類の未来可能性(sustainable future)は、健康な気候・生物圏相互作用系を維持しつつ、その系と調和した地球社会、地域社会をいかに創出できるかにかかっているといえる。

3. 生物圏を生かした地域循環共生圏を

3.1 生物圏の保全と利活用を基礎にした方策を

では、生物圏との調和を前提として、気候変動に対してどのような長期的対策が可能であろうか。近年、生物圏の維持・保全と利活用を想定したNature-based Solution(NbS)による解決策を強調した論考が多くなっている。その多くは、森林を増やしてCO₂の吸収を増やし、同時に都市も含めた緑の居住環境の形成を促進するという方向性を強調している。ただ、その場合、相乗効果とトレードオフが存在していることへの懸念も多い。例えば、Seddon *et al.* (2020)は、この問題をレビューしたうえで、以下の4つの指針を提示している。

①NbSは化石燃料の急速な廃止の代替手段ではない。②NbSは陸地と海の両方の生態系を幅広く対象とし、森林に限定すべきではない。③NbSは先住民や地域コミュニティの完全な参画と同意に基づき、その文化的・生態的権利を尊重する形で実施すべきである。④NbSは生物多様性への測定可能な利益を提供するように明示的に設計すべきである。Zari *et al.* (2022)は、特に都市域において生物多様性の維持と生物圏の都市気候の効果に重点を置いて、気候変動への緩和と適応の包括的統合に取り組む「再生型都市」を提唱している。

3.2 IPCCとIPBESの革新的な協働が必要

ここで主張する気候・生物圏の相互作用系の研究はどう進められてきたか。これまで気候変動の予測も含む研究と生物圏(生態系・生物多様性)の実態と保全の研究はそれぞれ、IPCC(Intergovernmental Panel for Climate Change)とIPBES(Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services)という二つの大きな国際的研究組織で進められてきたが、気候科学者中心のIPCCと生物科学者中心のIPBESは、ほとんど交流なく進められてきた。気候変動と生物圏保全は地球環境問題の二つの大きな課題であることも踏まえ、それぞれが相互にどう絡むかについての包括的に議論を進めるため、国際合同ワークショップが双方の研究者により2020年に初めて開催された。その報告書(Scholes *et al.*, 2021)では、気候変動、生物圏と社会の相互関係をベースに、多岐にわたる問題群が議論されているが、本稿の視点から特に重要な指摘は以下のとおりである。

①気候変動が生物圏に与えている影響の指摘が多い。②NbSの基礎となる生物圏をさまざまな時間空間スケールで維持することは、気候の緩和や適応のプロセスにプラスに働いている。特に図1に示したような豊富な炭素貯蔵量と生物種を要する陸域・海域の生物多様性保護を含む生物圏の維持は、気候変動緩和と適応に加え、生物多様性保護を同時に両立させるために最も重要である。③気候変動の緩和・適応のみに絞った対策は生物圏に直接的・間接的な悪影響を及ぼす。④気候変動、生物多様性、人間社会の良質な生活(well-being)を一体のシステムに向けた社会変革が重要である。

ただ、物理学としての気候科学と生態学を中心とする生物科学は、それぞれの科学分野が伝統的に持つ認識論が大きく異なっており、この二つの科学コミュニティの連携・協働がどのようにできるかが大きな課題であることも明らかになった。Borie *et al.* (2021)によるとIPCCは‘the view from nowhere’、IPBESは‘the view from everywhere’が基調となっているという興味深い論点を提出している。すなわち、IPCCでは地球スケールでの気候理解をより還元論的

視点で進め、そこからトップダウンした見方で地域ごとの気候を観るのに対し、IPBESでは、地域ごとに根拠した多様な知識を集約し、それを統合してグローバルな画像を浮き彫りにするプロセスを重視する。将来予測についてもIPCCでは、地球気候システム全体の予測を過去のデータを元にしたモデルで行い、そのダウンスケールで地域の将来気候を考える。ただ予測のベースになる「社会経済シナリオ」も（先進国を念頭ににおいた）社会経済の進展シナリオで、そこには生物圏の要素は含まれていない。一方、IPBESでの未来像の構築方法は、気候変動はあくまで所与の条件であり、生態系・生物多様性の未来のポジティブなビジョンから、それぞれの地域での住民・先住民との合意をベースに現状の問題点を改善するという視点が強い。

合同ワークショップ報告では結論的に、気候変動、生物多様性、人間社会の良質な生活（well-being）を一体のシステムとして社会変革するプロセスの重要性が指摘されている。このことは同時に、気候変動の適応と緩和の統合的な方策にも不可欠である。これは、図4に示すSDGsの17項目の関係を分かりやすく示した（いわゆる）ウェディングケーキ構造の図と整合的である。本論での気候・生態系相互作用系とは、実は、人類社会システムの生存基盤をなす最下部のドーナツ部分に対応している。ただ、すでに指摘したように、気候科学と生物科学という大きく異なる認識論と方法論を持つ分野をどう統合して社会変革へとつなげていくかが、実は今後の大きな課題である。

3.3 都市と地域をつないだ地域循環共生圏ネクサスを

科学分野の連携・統合に重要なプロセスは、現実社会での問題を共に取り組むことであろう。環境省は、2018年度からの第5次環境基本計画の中で、地域での自立・分散型の「地域循環共生圏」の概念を提唱している。この概念自体は、気候変動への対策にも非常に重要である。ただ、これまでのこの「共生圏」概念に基づく環境への取り組みは、いくつかの地方小都市でのSDGsのローカルな課題に試みられるに留まっており、特に気候変動の影響や生物圏（生物多様性）保全を意識した実践はまだ見られない。生物圏の保全や持続可能な利活用、エネルギーや食料も含めた自立・分散型の地域を想定するならば、大都市とその周辺の農山漁村域をつないで、地産地消型の地域流通圏を基本とすることが、より実質的な地域循環共生圏となりうるはずである。気候変動に強靱な社会構造と生物圏保全も同時に担える共生圏とするには、大都市でのグリーンインフラ構造への転換に加え、都道府県レベルでの共生圏をユニットにして、近隣都道府県サイズの共生圏と連携するネクサスの構造が、より有効な地域循環共生圏となりうるのではないだろうか。

おわりに

気候変動、生物多様性、人間社会の良質な生活（well-being）をつなぐ永続的なシステムに向けた社会変革を推進するには、多くの課題が残されている。図4でも示されるように、基盤となる気候科学・生物圏科学に加え人文・社会科学を含む学際的研究の知見



図4 SDGsの17項目を環境、社会、経済に分けて、その関係性を示した「ウェディングケーキ」の図
出所）Azote for Stockholm Resilience Centre, Stockholm University CC BY-ND 3.0.

に基づきつつ、緩和策と適応策の優れた統合を加速するためには地域レベルでの政策と実践を担う行政や住民の意識改革と実践への意識をいかに高めていけるかが大きな課題である (Laukkonen J. *et al.*, 2009)。特に行政では関連する部門間での壁を越えた連携や包括的な共創の強化や、予算や資金調達における協働と統合などでの柔軟で反復可能なプロセスなど、さまざまに異なるレベルでの支援、協力を可能とする体制も重要である (Howarth and Robinson, 2024)。

「人新世」や「第6次大量絶滅の可能性」は、核問題も含めて、人類が生み出した近代科学の負の所産ではあるが、そのような問題に気づいたのも人類の智である。宇宙の進化や構造を決めているのは、実は人間の存在そのものであるとする宇宙に関する人間原理 (anthropic principle) という考え方 (Carter, 1974 ; 青木, 2013 など) が宇宙論では注目されつつある。この原理は地球と (人類を含む) 生物圏の進化をも、人間の存在により規定されていることも示唆している (Carter, 1983)。ならば、地球の未来は人類の智により決まるし決めていくべきであると、私は信じている。

謝辞 本稿をまとめるにあたり、石井励一郎、一原雅子、高田久美子、森永由紀の各氏および編集委員の平野勇二郎氏には貴重なコメントをいただいた。ここに記して感謝したい。

引用文献

- 青木 薫 (2013) 宇宙はなぜこのような宇宙なのか—人間原理と宇宙論。講談社現代新書。
- 安成哲三 (2018) 地球気候学。東京大学出版会, 232pp.
- 安成哲三・何斯誠 (2025) 京都市の熱中症搬送者数変動は何で決まっているか—気象要素と観光客数変動の連関分析。天気, 72-4, 3~17.
- Balzon M V. (2025) Scaling nature-based solutions to address the twin crises of biodiversity loss and climate change. Cell Reports Sustainability, 2, 1~3.
- Borie M., Martin Mahony, Noam Obermeister and Mike Hulme (2021) Knowing like a global expert organization: Comparative insights from the IPCC and IPBES Global Environmental Change.
- Caldeira K. and J.F. Kasting (1992) The life span of the biosphere revisited. Nature, 360, 721~723.

- Carter B. (1974) Large number coincidences and the anthropic principle in cosmology. In I.A.U. Symposium 63: confrontation of cosmological theories with observational data (ed. M.S. Longair), p.291, Dordrecht:Reidel.
- Carter B.(1983) The anthropic principle and its implications for biological evolution. Phil. Trans. R. Soc. London A310, 347~363.
- Fedele, G., C.I. Donatti, C.A. Harvey, L. Hannah and D.G. Hole (2019) Transformative adaptation to climate change for sustainable social-ecological systems. Environ. Sci. Policy 101, 116~125. doi: 10.1016/j.envsci.2019.07.001
- Filho W.L., F.Wolf, S. Moncada, A.L. Salvia, A-L. B. Balogun, C. Skanavis, A. Kounani and P. D. Nunn (2022) Transformative adaptation as a sustainable response to climate change: insights from large-scale case studies. Climate Change, 27:20 <<https://doi.org/10.1007/s11027-022-09997-2>>
- Franck S., C. Bounama and W. von Bloh (2006) Causes and timing of future biosphere extinctions Biogeosciences, 3, 85~92.
- Howarth C. and E.J.Z. Robinson (2024) Effective climate action must integrate climate adaptation and mitigation. Nature climate change, 14, 300~301. <<https://doi.org/10.1038/s41558-024-01963-x>>
- Ichihara, M., Y. Nakagawa, R. Ishii, T. Saijo and T. Yasunari (2024a) Toward a transformative climate change adaptation from local to global perspective- A transdisciplinary challenge by Kyoto Climate Change Adaptation Center. Frontiers in Climate. <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fclim.2023.1304989/full>>
- Ichihara M., Y. Nakagawa, R. Ishii, T. Saijo and T. Yasunari (2024b) Pursuing just and transformative adaptation to climate change through equal multi-stakeholder communication: A Case Study conducted by Kyoto Climate Change Adaptation Center. Proceedings of the 22nd International Nitrogen Workshop, the 17th-21st June, Aarhus, 2024, p.159.
- IPCC (2021) Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391pp. doi:10.1017/9781009157896.
- Ishigooka Y., S. Fukui, T. Hasegawa, T. Kuwagata, M. Nishimori and M. Kondo (2017) Large-scale evaluation of the effects of adaptation to climate change by shifting transplanting date on rice production and quality in Japan. J. Agricultural Meteorol. 73(4) 156~173.
- Ishigooka Y., T. Hasegawa, T. Kuwagata, M. Nishimori and H. Wakatsuki (2021) Revision of estimates of climate change impacts on rice yield and quality in Japan by considering the combined effects of temperature and CO₂ concentration. J. Agricultural Meteorol. 77(2) 139~149.

- Lenton T.M. and W. von Bloh (2001) Biotic feedback extends the life span of the biosphere. *Geophys.Res.Lett.*28, 1715～1718.
- Morecroft M. D., S. Duffield, M. Harley, J. W. Pearce-Higgins, N. Stevens, O. Watts and J. Whitaker (2019) Measuring the success of climate change adaptation and mitigation in terrestrial ecosystems. *Science* 366, 1329. doi:10.1126/science.aaw9256.
- Laukkonen J., P.K. Blanco, J. Lenhart, M. Keiner, B. Cavric and C. Kinuthia-Njenga (2009) Combining climate change adaptation and mitigation measures at the local level *Habitat International* 33 287～292.
- Seddon N., A. Smith, P. Smith, I. Key, A. Chausson, C. Girardin, J. House, S. Srivastava and B. Turner (2020) Getting the message right on nature-based solutions to climate. *Global Change Biology*, 27, 1518～1546. doi: 10.1111/gcb.15513.
- Scholes P.H.O *et al.* (2021) IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change (Version 2). <<https://doi.org/10.5281/zenodo.5101133>> (和訳要約版：高橋康夫他訳・編著 IGES (2021) 生物多様性と気候変動-IPBES-IPCC 合同ワークショップ報告書: IGES による翻訳と解説)
- Zari, M.P., M. MacKinnon, K. Varshney and N. Bakshi (2022) Regenerative living cities and the urban climate-biodiversity-wellbeing nexus. *Nature Climate Change*, 12, 596～606. <<https://doi.org/10.1038/s41558-022-01390-w>>