

地球科学と金融の対話

眠れる巨人と金融

—金融が気候安定化のためにリーダーシップを発揮する機会—



地球システム金融プロジェクトからの報告

本レポート「眠れる巨人と金融 ―金融が気候安定化のためにリーダーシップを発揮する機会―」は、地球の経済ダイナミクスおよび生物圏プログラム（Global Economic Dynamics and the Biosphere programme）、Future Earthおよびストックホルム・レジリエンス・センターの刊行によるものであり、スウェーデンイノベーションシステム庁（VINNOVA）が支援する地球システム金融（Earth System Finance）プロジェクトの一環として作成された。

著者：Owen Gaffney^{1,2}, Beatrice Crona^{1,3}, Alice Dauriach³, Victor Galaz^{1,3}

協力：¹ストックホルム大学ストックホルム・レジリエンス・センター（スウェーデン）、²Future Earth（スウェーデン）、³スウェーデン王立科学アカデミー 地球の経済ダイナミクスおよび生物圏プログラム（Global Economic Dynamics and the Biosphere programme）

レイアウト：Jerker Lokrantz/Azote

翻訳協力：Future Earth Swedish Global Hub

印刷協力：国立環境研究所

2018年9月

DOI: 10.17045/sthlmuni.7105748

本レポートについて

「気候変動が金融の安定性にとって、明白な、今そこにある危機として認識された時には、気温の上昇を2°C以下に抑えるにはすでに遅すぎるかもしれない」

マーク・カーニー氏、2018年4月6日

G20金融安定理事会議長でイングランド銀行総裁のマーク・カーニー氏は、気候変動のリスクが国際的な資本市場を不安定化させる可能性がある」と主張している。不安定化により、政治的混乱がもたらされ、移住が余儀なくされ、ハリケーンや干ばつなどの極端な現象が発生し、ゼロ・カーボンの未来に向けた経済的移行の中で資産が座礁する可能性がある。しかしながら、資本市場は、化石燃料インフラおよびCO₂排出量の多い企業への投資を通じて最も直接的に、気候変動の課題が今後どのように展開するかに関して直接影響を及ぼすことができ、実際に影響を及ぼしている。しかし、これ以外にも隠された影響があり、本レポートにおける主要テーマとなっている。地球システム科学による新たな知見により、このまま気候変動が加速すると、地球システムにとって重要な地域で状況が急変し、その結果、さらなる気候の不安定化や温暖化が起こる可能性があることが示されている。これらは一般的に転換をもたらす要素（tipping elements）と呼ばれる。これらの重要な地域での緊急の懸念は、金融セクターや人類全体に対する重要な意味合いを持つ。マーク・カーニー氏の気候変動に対する懸念が増している理由はここにある。

本レポートには主に二つの目的がある。一つは金融セクターに対し、転換をもたらす要素の概念を伝えること、そして急速に変化する環境に関する最先端の科学的情報を端的にまとめて提供することである。二つ目は投資セクターとこれら転換をもたらす要素の関係性を明らかにし、アマゾンの熱帯雨林とロシアとカナダの北方林の二つの事例を用いて、これらの関係性を精査する方法に関して、仮の手法を概説することである。

本レポートでは、転換をもたらす要素のうち森林で覆われたもの（アマゾンの熱帯雨林および北半球高緯度の広大な北方林）を重点的に取り上げる。これらの生物群系は、今後数十年で転換点（tipping points）を超えかねない高い脆弱性がありながら人類からの圧力が高まっているという、転換を持つ要素の状況をよく象徴しているからである。かつまた、金融セクターがここに大きく影響しているからである。しかし金融システムは、これらの転換をもたらす要素の安定化を図るのにもまた重要な手段を提供することができる。

本レポートでは、現在、これらの地域での転換をもたらす要素が世界の金融システムにとってシステムリスクであると結論する。これらの広大な森林の内部平衡が変化し、土壌中のCO₂が大気中に放出され始めると、気候の安定化は難しくなり、金融の安定にも影響を及ぼす。しかし、今後十年の行動によって、世界のシステムリスクを大きく下げることができる。

残された時間は少ない。金融に関わるアクター、そして人類全体が目覚まし、転換点に近づく新たなダイナミクスと地球システムの非線形変化が、新たな喫緊の課題となっているということを認識しなくてはならない。

謝辞

本レポートは、スウェーデンイノベーションシステム庁 (VINNOVA)、Futura Foundations、Erling-Persson Family Foundationおよびスウェーデン王立科学アカデミー 地球の経済ダイナミクスおよび生物圏プログラム (Global Economic Dynamics and the Biosphere programme) の財政支援を受けて刊行された。

本レポートは、多岐にわたる「地球システム金融—金融市場の新たな視点および持続可能性」プロジェクトの出版物である。同プロジェクトでは、国連環境計画・金融イニシアティブが重要なパートナーとなっている。また、本調査プロジェクト全般でのAna Paula Dutra de Aguiar博士 (ストックホルム大学ストックホルム・レジリエンス・センター)の知的貢献およびデータの提供に謝辞を述べたい。

本レポートの内容は、以下のさまざまな分野の専門家により検証されている。

Will Steffen氏、オーストラリア国立大学 (ANU) 名誉教授。ANU気候変動協会前ディレクター、オーストラリア気候委員会メンバー

Tim Lenton氏、エクセター大学教授・グローバルシステム研究所ディレクター

Carlos Nobre氏、サンパウロ大学 (USP) 高等研究所教授、地球システム科学センター・ブラジル国立宇宙研究所 (INPE) 前ディレクター。ブラジル科学技術革新通信省の研究開発政策の前事務局長

Bert Scholtens氏、オランダフローニンゲン大学経済学・ビジネス学部教授、英国セント・アンドルーズ大学経営学部ファイナンス教授

Manjana Milkoreit氏、米国パデュー大学政治学助教

Anders Nordheim氏、国連環境計画・金融イニシアティブエコシステムおよび持続可能な土地利用・プログラムリーダー

本レポートは専門家の検証を受けているが、その中で示されているあらゆる意見、発見事項および結論または推奨は著者のものであり、資金提供者または検証者の見解を必ずしも反映するものでないことを留意願いたい。

目次

本レポートについて	3
謝辞	4
目次	5
概要	6
序	8
地球システムの状況	10
転換点(tipping points)および転換をもたらす要素(tipping elements)	13
生物圏の金融—金融が気候安定化でリーダーシップを発揮する新たな機会	19
投資家および地球システムの転換点	21
一歩先へ	27
結論	28



概要

おそらく、現在最も深刻な課題は、気候を比較的安定させることで、地球の人々の現在および今後数世代にわたる繁栄を守ることである。

過去1万年は、気候がたぐいまれに安定していた時代と言える。この完新世に、人類は文明化し、繁栄を謳歌した。地球上の人口が2050年には100億人に達しようとする中、不可欠な食物、水およびエネルギーの供給を確保するのに、我々は、大気、海洋、氷河、森林および、ツンドラで構成されている地球システムのこうした安定状態に依存している。しかし、現在、この安定性と強靱さ（レジリエンス）が危機にさらされている。

現在、地球システムはもっぱら人間の行動の影響を受けて変化しており、変化が加速している。2000年に地球システムの科学者達は、蓄積したデータに基づき、地球のプロセスが完新世の境界を越え、地球が新たな地質年代である人新世に入ったという見解を示した。

地球システム科学は、急発展している研究領域であり、地球システムのいわゆる転換をもたらす要素（tipping elements）を解明し始めた。転換をもたらす要素とは、まったく異なる状況に変化する、転換点、または臨界閾値を超える可能性のある、地球システムの広域的な構成要素のことを指す。例として、北極氷原が夏期に氷が有る状況から無い状況に変化する、アマゾンの大部分の森林がサバンナとなるといった現象が挙げられる。また、これらの転換をもたらす要素の一部は、「眠れる巨人」とも呼ばれる。「眠れる巨人」は一度目覚めると、土壌や植物に蓄積されている炭素とは異なり、CO₂の大量排出を通じて地球の気候に大きな影響を及ぼす可能性があるからである。転換をもたらす要素の閾値および影響の定量化については、研究の途上にあり、いまだ不確実な部分がある。しかし、地球システムが一段と急速に温暖化すればするほど、サプライズのリスクが高まると幅広く合意されている。

地球の炭素サイクルに、つまりは気候に特に関連する転換をもたらす要素として、アマゾンの熱帯雨林と北方林の二つが挙げられる。これらの生物群系は今後数十年の間転換に対して非常に脆弱であり、その状況もまた加速する人類および経済からの圧力にも左右される。

気温が3°C~4°C上昇するか、森林破壊が約25%に達すれば、アマゾンの熱帯雨林は転換点を超え、格段に乾燥したサバンナになる可能性がある。しかしながら、気温上昇、森林破壊、森林火災の増加が重なることで、転換点にかなり早期に達する可能性がある。現在、アマゾン流域のほぼ18%の森林が破壊されている。

地球において北方林は最も温暖化が進んでいる地域の一つであり、近い将来には産業革命前よりも6°C気温が上昇する可能性がある。これにより、乾燥や解凍がもたらされ、広範囲の森林火災が発生するリスクが高まり、大気中に数百万トンのCO₂が排出される。現在、地球の平均気温がおおむね3~5°C上昇すると転換点に達すると推定されている。森林管理によりこのリスクを軽減することが可能である。

転換点を超えるリスクはさらに多く存在する。特に、一つの転換点を迎えると新たな転換点が生じるというドミノ効果（連鎖反応）の危険性がある。目標の2°Cを超えると、気候変動により気温が不可逆的に4°C以上上昇しうる「転換の連鎖」が促されるリスクが急激に高まり、海水面の大幅な上昇につながる。

金融セクターは、温室効果ガスを排出する経済活動を可能にし、さまざまな形で土地利用方法を変えることで、気候変動に加担している。これが、多くの投資家が責任を果たすべきであり、次第に多くの投資家が実際に責任を果たしていることの重要な理由である。しかし、金融セクターの気候変動への関与（エンゲージメント）がかつてなく行われている一方で、地球システムの転換点および投資家が転換点にどのように影響を与える可能性があるかに関する認識と理解はいまだ低い。

本レポートでは、金融市場が一部の眠れる巨人を転換点に向かわせる恐れがあることが示されている。森林の安定および強靱さを脅かす森林破壊および森林劣化を徐々に促す要因である、大豆、牛肉、木材、その他のコモディティを製造する企業に、投資家は資本を提供し、株式を保有している。少数の株主が、森林破壊に最も加担しているセクターの最大手企業の相当な株式を保有しているのが実態である。これらの投資家の株式保有数の合計は、アマゾンでは8社の内3社で、カナダの北方林では19社の内4社で、口

シアの北方林では5社の内3社で、10%の閾値を超えている。我々は、地球規模で展開しているこれらの機関投資家を「金融の巨人」と呼んでいる。これらの機関投資家は地球システムの複数の眠れる巨人の強靱さに対して大きな影響力を有しているが、実行していない。金融の巨人は、投資先企業のガバナンスの強化に影響を及ぼすことが可能である。例えば、サプライチェーンにおける効果的な森林破壊ゼロの推進、劣化した森林の再生、再植林、植林、森林管理の実施、生物学的多様性の維持が挙げられる。

現在、アマゾンの熱帯雨林、北方林およびその他の転換をもたらす要素は、世界の金融システムにとってシステムミックリスクであると考えられている。金融資産は、気候政策（座礁資産、CO₂の将来価格など）が変更される可能性のみならず、特に転換点を越えた場合には、気候自体が広域的かつ急速に変動することによる影響のリスクにさらされる。したがって、**危険な気候変動を回避する取り組みには、温室効果ガス排出量を削減すること、およびこれらの重要**

な転換をもたらす要素の強靱さと安定性を同時に高めることの両方が必要となる。金融セクターが温室効果ガス排出量の削減への対応に結集している一方で、持続可能投資を推進するために策定された非線形な地球システムのダイナミクスの戦略およびリスクシナリオに対する認識は非常に限られている。

金融のみが持続可能な気候への移行に対して責任を担えるわけではないが、極めて重要な役割を果たすことができ、また責任を担わなければならない。地球と金融業界のポートフォリオの利益のために、責任を担い、権限を行使し、リーダーシップを発揮することで、金融関係者は、生物圏のスチュワードシップと気候の安定に必要な新たな道筋に大きく貢献することができる。しかし、残された時間は少ない。金融関係者、そして人類全体が目覚まし、地球システムの非線形変化をもたらす新たな喫緊の課題を認識する必要がある。

序

「最後の決定的な一撃」

転換点という考えは以前からあり、多くの文化で慣用語やことわざとして存在してきた。「最後の決定的な一撃」ということわざが最も有名であろう。オックスフォード英語大辞典では、転換点は「一連の小さな変化または出来事が、より大きく、重大な変化を起こすのに十分に重要になる点」と定義されている。ケンブリッジ辞典では、「変化または影響を止めることができない瞬間」という意味が追加されている。科学的には、転換点を、微少の摂動がシステムの状況または発展を質的に変更可能な臨界閾値と定義することができる¹。小さな変化が大きな差を生む可能性がある、言い換えることもできる。

眠れる巨人に出会う

太古を研究している科学者は、気候において広域的かつ急速な変化が起きている証拠を示した。気候の転換点に関する知識が深まるにつれ、このことが気候変動研究の重要な部分を占めるようになった³。地球システムおよび転換をもたらす要素の可能性が高いと特定された関連プロセスの

具体的な構成要素として、海氷、グリーンランド氷床と南極氷床の溶解、海洋循環および大気循環の変化、重要な生物群系（広域の生態域）の喪失または変更が挙げられる。これらの地域やプロセスの多くが、人類から圧力を受け、急変している^{3,4}。過去の証拠、現在の観察、気候モデル、またはこれらすべてにより、研究者は、これらが新たな状況に急展開する可能性があり、差し迫った警告がほとんどないことを示した。したがって、これらが転換点を超え、内部のダイナミクスを急変させ、後に気候に影響を及ぼすフィードバックを助長する可能性がある。こうした理由から、転換をもたらす要素には、炭素循環に関係する要素が含まれ、人類の温室効果ガス排出を要因とする温暖化を加速させる可能性があり、眠れる巨人とも呼ばれる⁵。

※本レポートで使用している地球システムという用語は、地球圏—生物圏国際協同研究計画⁷から引用されており、水循環および大気循環を含むさまざまなサブシステムがすべて、なお一つの単独のシステムである地球システムの一部であることが強調されている。

ボックス1 転換点および科学的不確実性

転換点に関する研究は過去25年間に急速に増えた。研究途上の領域であるため不確実性が存在する。現在研究者が使用している気候コンピューターモデルには、気候に影響を及ぼす可能性のあるすべての既知のプロセス、および自己安定化する地球システムに寄与するすべての相互作用が含まれていないか、十分に反映されていない。また、当然、気候モデルには、気候の安定化に関連する可能性のある未知のプロセスが含まれていないことを我々は理解している。これらの理由から、研究者の世界では、地球システムが一段と急速に温暖化すればするほど、サプライズのリスクが高まると幅広く合意されている³。

最近の気候評価では、転換点に関して主に5つの不確実性が取り上げられている³。

1. 北極海氷、サンゴ礁などの例示されている転換点だが、実際に異なる状況への移行を経験する閾値に、傾くまたは超えるのかどうか

2. 転換をもたらす要素におけるかかる移行が始まるのに必要な外力の規模およびタイミング
3. 作動し始めてからの移行の速度
4. かかる移行の結果生じる新たな状況の特徴
5. 未知の新たな転換をもたらす要素が存在する可能性

また、最近の研究では、一つの転換をもたらす要素が新たな状況に移行すると、ドミノ効果のようにその他の転換を引き起こす、転換点連鎖のリスクの可能性がある⁶。

個々の転換をもたらす要素およびその相互作用に関連した一部のフィードバックを、高い信頼性で定量化することが可能である一方で、他のフィードバックは知られているが、定量化できず、現在も知られていないフィードバックが存在する可能性がある³。

眠れる巨人として特に懸念されるのが、アマゾンと北方林の広大な地域であり、気温の上昇と雨量の変化の影響を受けやすい。しかし、これらの地域はまた、伐木、採鉱、農業生産への転換など人類の経済活動による圧力を強く受けている。

特に一人の巨人が目覚め、他の巨人を起こし、管理可能な領域内で気候を制御することが一段と難しくなる可能性があるため⁶、これらの眠れる巨人の状況に関して知識を持つことは危険な気候変動の閾値を定義するのに重要である。したがって、科学者の間では、眠れる巨人を起こすべきでないかと広く合意されている。

現在、金融市場がこれらの眠れる巨人の少なくとも一部を起こす恐れがある。投資家は、アマゾンの森林や北方林などの、眠れる巨人の安定を脅かす森林破壊を徐々に促す要因である、大豆、牛肉、木材、その他のコモディティを製造する企業に資本を提供している。しかし、眠れる巨人という概念、そして気候の安定を脅かす可能性のある転換点に眠れる巨人を向かわせる金融セクターの役割に関する議論は広がっていない。

本レポートでは、地球システムにおける転換点の最新の証拠が精査されている。転換点を超えるリスク、特に転換点を超えると地球が他の転換点に近づくドミノ効果を生むリスクが重点的に取り上げられている。また、アマゾンの熱帯雨林およびロシアとカナダの北方林の二つの眠れる巨人を対象とし、現在これらの眠れる巨人を狂わせる恐れのある企業活動への投資を通じて、金融システムがいかにこれらの地域に関連しているのか概説している。

参考資料

1. Lenton, T. M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J. W., Lucht, W., Rahmstorf, S., & Schellnhuber, H. J. (2008). Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, 105(6), 1786-1793.
2. Milkoreit, M., Hodbod, J., Baggio, J., Benessaiah, K., Calderón-Contreras, R., Donges, J. F., ... & Werners, S. E. (2018). Defining tipping points for social-ecological systems scholarship—an interdisciplinary literature review. *Environmental Research Letters*, 13(3), 033005.
3. USGCRP (U.S. Global Change Research Program). (2017). Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I. Eds: D.J. Wuebbles, D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, T.K. Maycock, 470 pp. Washington, DC, USA, <http://doi.org/10.7930/JOJ964J6>
4. Schellnhuber, H. J., Rahmstorf, S., & Winkelmann, R. (2016). Why the right climate target was agreed in Paris. *Nature Climate Change*, 6(7), 649.
5. Steffen, W. (2006). The Anthropocene, global change and sleeping giants: where on Earth are we going? *Carbon Balance and Management*, 1(1), 3. <http://doi.org/10.1186/1750-0680-1-3>
6. Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T. M., Folke, C., Liverman, D., ... Schellnhuber, H. J. (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(33): 8252–8259. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
7. Steffen, W., Sanderson, A., Tyson, P.D., Jäger, J., Matson, P., Moore III, B., Oldfield, F., Richardson, K., Schellnhuber, H.-J., Turner II, B.L. and Wasson, R.J. (2004). *Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure*. The IGBP series, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 336 pp.

地球システムの状況

「地球の歴史において最も顕著で急速な変化は1950年以降に生じた」

Steffen and colleagues, 「The trajectory of the Anthropocene : The Great Acceleration (人新世の道筋: 大加速)」(2015年)

安定と人類の繁栄

ほぼ1万年前、我々の先祖は、狩猟・採集から定住農業への著しい社会的転換を行った。土木技術を用いて灌漑システムが構築され、村落が急増した。社会は階層化され、最初の都市が出現した。

地球の気候が際立って安定していた中で、人類が発展したのは偶然ではない。過去1万年間に、地球の平均気温はわずかにプラスマイナス1℃しか変動しなかった¹。過去260万年にわたり気候は著しく不安定で、長期の氷河期と短期の温暖期が周期的に繰り返されていた²。この不安定な時期以前には、地球の気候は非常に安定した状態が続いており、現在よりも大幅に温暖(4℃高い)であり、北極・南極には氷河がほぼないかまったくなく、海面は最大70メートル高いか、地質時代をさらに遡ると極度の低温状態にあった。

地質学者は、直近の気候の安定期を完新世と呼んでいる。気候の安定は人類に非常に有利に作用し、農業が近代化し、文明が発達し、人類全体の生活水準が大幅に向上した^{3,4}。地球上の人口が2050年には100億人に達しようとする中、不可欠な食物、水およびエネルギーの供給を確保するのに、我々は、大気、海洋、氷河、森林および、ツンドラで構成されている地球システムのこの安定状態に依存している。しかし、現在、地球システムの安定性と強靱さが危機にさらされている。

大加速

世界の人口は1800年までに10億人に達し、産業革命が英国、続いて欧州で起きた。人口は急増し、低コストで豊富な化石燃料に支えられ、経済は大きく発展し、都市人口が増え始めた。これにより、産業と科学の分野で創造的かつ革新的な発明・発見がもたらされ、飛躍的な成長を遂げた⁴。

人工肥料と新たな農機が発明されたことで、農業の集約化が進み、増え続ける膨大な人口を養う資源が保有された。しかし、第二次世界大戦以降、産業革命が過度に進んだ。多くの社会および生物物理学的プロセスにおいて指数関数的成長と増大が起きたため(図1)、大加速と呼ばれている。過去200年間に、地球の人口は7倍以上の約76億人に増加し、半数以上が都市に居住している。経済生産量は約100倍の60兆ドル超となった⁵。

世界的な観光や海外直接投資から人口や国内総生産(GDP)まで、変化のスピードと規模は増加から指数関数的になっている(図1)。不平等が拡大しているにもかかわらず、大加速により、世界の人口の多くの生活水準が大幅に改善したが、地球の強靱さが代償となった。言い換えるならば、衝撃を吸収し、現状を維持するという地球の力は急速に弱まっている^{6,7}。

新たな時代、人新世を迎える

世界は過去に5回の大量絶滅を経験しており^{3,9,10,11}、現在の絶滅のペースを踏まえると、6回目の大量絶滅に向かっている可能性がある⁸。海洋の酸性化は、過去3億年間に前例のないペースで進行しており、過去50年間の気候変動が人類の排出以外により引き起こされたという証拠はない。

2000年に地球システムの科学者達は、蓄積したデータに基づき、地球のプロセスが完新世の境界を越え^{12,13}、地球が新たな地質年代である人新世に入ったという見解を示した。この見解は、地球圏—生物圏国際協同研究計画¹⁴による主要統合研究Global Change and the Earth System(世界の変動および地球システム)が2004年に発表されたことで、さらに裏付けられた。現在、地球システムの変化のスピードが主に人的要因(森林破壊、温室効果ガス排出、肥料の使用、大気汚染など)によるものであるという証拠が示されている¹¹。

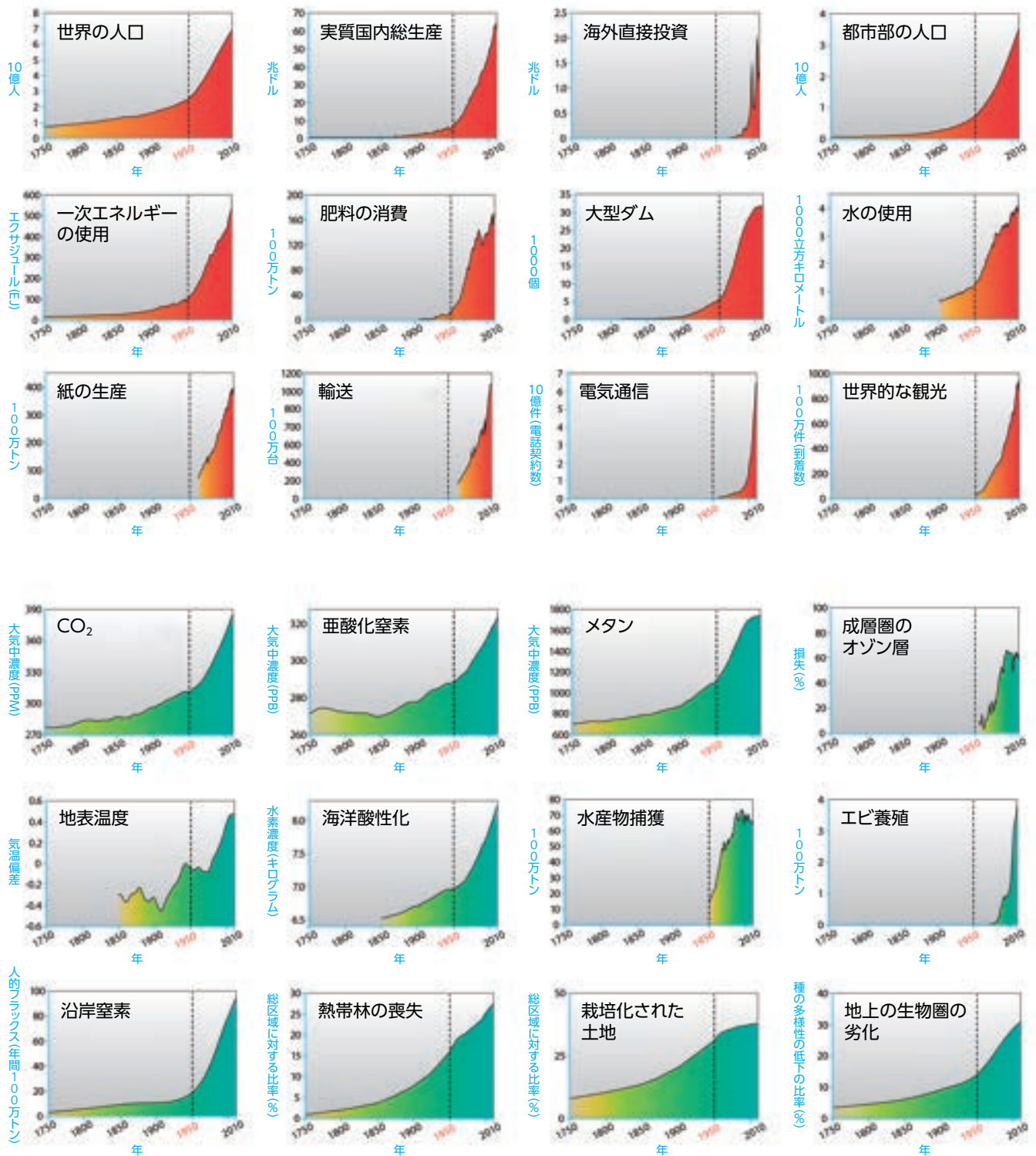


図1：大加速

複数のさまざまな社会、経済および理学的変数がすべて同様な指数関数的増加を示している（出所：地球圏—生物圏国際協同研究計画 (IGBP)、Steffenなどから引用、2015年）

参考資料

- Marcott, S. A., Shakun, J. D., Clark, P. U., & Mix, A. C. (2013). A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years. *Science*, 339(6124), 1198-1201.
- Steffen, W., Persson, Å., Deutsch, L., Zalasiewicz, J., Williams, M., Richardson, K., ... & Molina, M. (2011). The Anthropocene: From Global Change to Planetary Stewardship. *Ambio*, 40(7), 739. <http://doi.org/10.1007/s13280-011-0185-x>
- Earth League & Future Earth, (2017). The 10 Science 'Must Knows' on Climate Change. <http://www.futureearth.org/news/cop23-10-science-must-knows-climate-change>

4. Nakicenovic, N., Rockström, J., Gaffney, O., & Zimm, C. (2016). Global Commons in the Anthropocene: World Development on a Stable and Resilient Planet. IIASA Working Paper. IIASA, Laxenburg, Austria: WP-16-019.
5. Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., & Ludwig, C. (2015). The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review*, 2(1), 81-98. <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>
6. Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... & Folke, C. (2015). Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855.
7. Rockström, J., Steffen, J. W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E., ... & Fole, J. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2), 32. <http://doi.org/10.1038/461472a>
8. Barnosky, A. D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G. O., Swartz, B., Quental, T. B., ... & Mersey, B. (2011). Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*, 471(7336), 51.
9. USGCRP (U.S. Global Change Research Program), (2017). Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I. Eds: D.J. Wuebbles, D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, T.K. Maycock, 470 pp. Washington, DC, USA, <http://doi.org/10.7930/J0964J6>
10. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
11. Gaffney, O., & Steffen, W. (2017). The Anthropocene equation. *The Anthropocene Review*, 4(1), 53-61.
12. Crutzen, P. J. (2002). Geology of mankind, *Nature* 415, 23. <http://doi.org/10.1038/415023a>
13. Crutzen, P. J., & Stoermer, E. F. (2000). The 'Anthropocene'. *Global Change Newsletter* 41, 17-18. *International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP)*.
14. Steffen, W., Sanderson, R. A., Tyson, P. D., Jäger, J., Matson, P. A., Moore III, B., ... & Wasson, R. J. (2004). *Global change and the earth system: a planet under pressure*. Springer Science & Business Media.

転換点(tipping points)および 転換をもたらす要素(tipping elements)

「転換点を越えることで、その地点を発見するのは賢明でない」

Carlos Nobre氏、教授、ブラジル科学技術革新省の研究開発政策の前国家事務官

転換点という概念は、化学および数学において1世紀にわたり用いられてきた^{1,2}。社会学者は1957年に初めて、この概念を米国における人種差別に用いた³。2000年に作家のマルコム・グラッドウェル氏が著書「ティッピングポイント⁴」を発表し、一般に知られるようになった。

気候科学者は数十年にわたり「閾値」および「非線形性」という用語を用いていたが、「転換点」という用語は2005年頃から気候研究論文で用いられるようになった⁵。同年にベルリンの英国大使館により「地球システムの転換点」という学会議が開催された。3年後に、この会議に出席した科学者達が、英国エクスター大学現教授のティモシー・レントン氏を中心として、転換点に関する記念碑的な科学論文を発表した⁶。

レントン教授と同僚は、「転換点」を「微少の摂動がシステムの状態または発展を質的に変更可能な臨界閾値」と定義した。大気、氷床、海洋、大陸、水、炭素循環および豊かで多様な生命の間の複雑な相互作用である地球システムが研究対象となった。また、「転換点」という用語を、「転換点を越える可能性のある地球システムの大規模な構成要素」を説明するために用い、北極海水、アマゾンの熱帯雨林、モンスーンシステムが例として取り上げられた。さらには、一度目覚めると（閾値を超えるなど）、地球システム全体に大きな影響を及ぼすため⁷（序も参照）、気候に特に関連する炭素循環の転換をもたらす要素を眠れる巨人と呼んだ。

最近では、米国地球変動研究プログラムが2017年に12の転換をもたらす要素を示した（表1を参照）。このリストは、太古の気候データ、地球システムモデルおよび専門家の知見による過去の研究に基づいている⁸。しかし、この分野の科学知識は急速に進歩しており、転換をもたらす要素の数と性質、相互作用の仕組みおよびこれらの影響の度合いに関して議論が続いている。例えば、西南極氷床および海面下の岩盤に乗っている東南極氷床はおおむね独立しており、内部のダイナミクスおよび温暖化に対する脆弱性が異なるため、別個に見られることが多い⁹。一部の研究で言及されている転換をもたらす要素のその他の例として、夏のインドモンスーンが挙げられ、エーロゾルおよび

土地利用の変化による気候フォーシングにより不安定化する可能性があり、南アジアの雨量を大幅に減少させ、食料生産に関連した問題を引き起こす⁶。また、転換点を越える地域でのCO₂の排出が地域ごとに大きく異なり、不確実性が大きいことに留意する必要がある。（序のボックス1を参照）。

転換する森林—気候リスク軽減に対する差し迫った懸念

前述の通り、転換をもたらす要素の範囲は広い。以下では、アマゾンの熱帯雨林およびロシアとカナダの北方林の二つの森林生物群系を取り上げる。これらの生物群系は温暖化および水分状況の変化の影響を受けやすく、人類の経済活動からの強い圧力にさらされており、したがって、投資コミュニティと直接関連している。

アマゾン

アマゾンの熱帯雨林の広さはインドの2倍で、地球の生物圏の中核となっている。炭素を大気から除き、土壌、幹、根に蓄える。1,350億~1,800億トンの炭素がここに蓄えられている。一方、人類の年間炭素排出量は約100億トンである。

アマゾンは急変に見舞われている。1960年代以降、森林の約20%が消滅した。雨量の減少および火事の増加という形で、すでに社会に大きな影響を及ぼしている。森林は蒸発散により雨量に影響を及ぼし、雨量の約半分はこのプロセスによるものである。アマゾンの熱帯雨林がなければ、同地域の雨量は劇的に変化し、過去には記録的な干ばつ（2005年、2010年、2015~2016年）および洪水（2009年、2012年、2014年：後者は西南アマゾン全体に及ぶ）に見舞われた。

アマゾンの熱帯雨林が転換点を越え、森林の大部分が死滅し、膨大な量のCO₂が排出される一方で、土地の広大な区域がサバンナ化する可能性があるとして推測されている。地球の気温が3~5℃上昇した場合、または森林破壊が元の森林の40%に達した場合^{10,11}、転換点を迎えると一般的に推測されている。21世紀後半にこのような転換点に達する可能性がある。

表1：地球システムの潜在的な転換をもたらす要素（2017年米国地球変動研究プログラム15章からの引用）

転換をもたらす要素	転換点をを超えたら何が起きるか	気候および環境の影響	経済的影響
大気循環—海洋循環			
大西洋南北熱塩循環 (AMOC)	大幅な弱体化	北大西洋地域の気温、雨および雪に影響を及ぼす可能性がある。また、地球の平均気温と海水面に影響を及ぼす可能性がある	人口に対する大きな適応が求められる
エルニーニョ現象 (エルニーニョ南方振動 (ENSO))	震幅の増大	エルニーニョ現象および対応するラニーニャ現象が気象の極端なパターン(雨量、干ばつなど)に地球規模で影響	各地域の極端な気象、モンスーンの始まり、干ばつを予想するのが一段と困難に影響
赤道大気超回転	開始	雲量の減少、気候の敏感化	
北大西洋地域の対流	大幅な弱体化	地域の気温および降水	
雪氷圏			
南極氷床	大幅な減少	海水面の上昇:アルベド(地表により反射または吸収される熱) 海洋循環	沿岸洪水の増加
北極海氷	夏期におけるおよび/または多年性海氷の大幅な減少	地域の気温の上昇および降水量の増加:アルベドの低下	北半球において極端な気象(干ばつ、降雨)の長期化・深刻化する可能性。地球規模の影響を伴う
グリーンランド氷床	氷体積の大幅な減少	海水面:アルベド:海洋循環の淡水フォーシング	海面上昇の加速
炭素循環			
メタンハイドレート	炭素の大量放出	温室効果ガス排出量の増加	地球の気温上昇の加速および影響の深刻化
永久凍土層のCO₂	炭素の大量放出	温室効果ガス排出量の増加	地球の気温上昇の加速および影響の深刻化

転換をもたらす要素	転換点を超えたら何が起きるか	気候および環境の影響	経済的影響
-----------	----------------	------------	-------

生物群系

アマゾンの熱帯雨林	森林の死滅（森林の広い区域が消滅）、草原化	温室効果ガスの排出、生物学的多様性の喪失	地球の気温上昇の加速および影響の深刻化、地域の生態系由来の財・サービスの喪失（農産物に対する経済的影響など）
北方林	森林の死滅（森林の広い区域が消滅）、草原化	温室効果ガスの排出、アルベドの変化、生物学的多様性の喪失	地球の気温上昇の加速および影響の深刻化、地域の生態系由来の財・サービスの喪失
サンゴ礁	サンゴの死滅、異なる生態系への移行	海洋の生物学的多様性の喪失	観光、漁業および関連産業に対する甚大な経済的影響

しかし、これらの推定は二つのプロセスのどちらかが単独で採用した場合に基づいている。**最近の研究は、よりシステムレベルのアプローチに基づいており、森林破壊が温暖化と森林火災の増加と組み合わせることで、転換点に一段と近づく可能性があることを示唆している。**実際、アマゾンシステムの専門家は2018年に、早ければ元の森林の状態の20～25%（現在の水準¹²を若干上回るにすぎない）が破壊されれば、転換点を超える可能性があるとして推測している。また、アマゾンの熱帯雨林が転換点を超える正確な時期の予測についてはいまだ不確実性が大きいとしながらも、この地球にとって重要な生物群系が転換点を超えてから初めて正確な時期に気づくのは賢明とは言えない、と指摘している。

これらの発見により、森林のステewardシップが、アマゾンの安定と強靭さ、したがって地球の気候において重要な役割を果たすことが明らかになった。現在、アマゾンの森林破壊の主因として、牛肉、大豆、木材生産、鉱業および関連インフラが挙げられている。次の章において、これらのセクターおよび金融業界との関係性について詳細に精査する。

北方林

北方林は、カナダ、ロシア、アラスカおよびスカンディナビアに広がっており、地球の全森林地帯¹³の約30%を占

めている。これらは陸上最大の生物群系であり、気候システムにおいて重要な役割を果たしている。莫大な量の炭素（約3,400億トン）を蓄え、地表面のアルベドに影響を及ぼし、さらに北に広がれば、北極の温暖化を増幅させる可能性がある。（暗い森林は熱を吸収する一方で、白い雪は熱を反射する¹⁴）

アマゾンと同様に、これらの森林は急変している。気温が上昇し、山火事が広域化および深刻化する中、昆虫の襲撃が増えている^{15,16}。近年、カナダ、ロシアおよびアラスカで記録破りの火事が発生しており、向こう数十年にわたり深刻化する可能性が高い。水の増加および熱ストレスにより、北方林の範囲が減少する可能性があるが、北方林の安定性と強靭さ^{17,18}に関して不確実な面が多い。

近年、北極および寒帯の気温は10年間で0.5℃の速さで上昇しており、地球において最も温暖化が進行している地域となっている。21世紀に北方林の気温は、すべての森林生物群系¹³の中で最も上昇すると予想されている。気候変動に関する政府間パネルは、気候変動¹³に関して緩和措置が講じられなかった場合、これらの地域では2100年までに気温が4～11℃上昇¹¹する可能性があるとして予想している。

このような極端な気温上昇は、資源採取と相まって、この重要な生物群系の安定に深刻な影響を及ぼす。永久凍土層の解凍および山火事は、大量の温室効果ガスを大気中に排出し、気温の上昇を加速させ、温暖化が温暖化を招く悪循環（ポジティブフィードバックとも呼ばれる）を引き起こす。寒帯の気温は解凍点に近づいているため、解凍にはさらなる温暖化はあまり必要でなく、北極圏よりも北方林の永久凍土層の方が解凍する可能性が高い。さらに、研究により、2100年までに2℃の気温上昇で、さらには転換点を超えれば、北方林により400億トンの炭素が大気中に排出される可能性がある。現在、この転換点は、地球の平均気温が約3～5℃上昇した地点と推定されている⁹。このような状況が生じた場合、人類が排出量を大幅に削減することができたとしても、北方林の生物群系からの炭素の排出は続き、将来、気温が上昇するのを抑制することが一段と困難になる。

北方林の安定と強靱さを保つ上で、森林管理の重要性は増している。現在、北方林の約三分の二は、主に木材生産を目的とした管理下にある。現在、ロシアでは、伐採の最大20%が違法に行われており、過剰伐採に陥っている¹³。一方、スカンディナビア、カナダおよびアラスカの森林は

比較的優れて管理されており、森林破壊の深刻度は低い。現状は優れて管理されていたとしても、この生物群系の強靱さを高めるために、将来の温暖化に対する取り組みとして、森林管理に対して新たな手法が必要である。こうした新たな手法として、腐敗樹を存在させ、より非一様な混合種の森林¹⁹を作ることによって、森林の生物学的多様性を守る方法が挙げられる。

ドミノ効果

前述の通り、一つの転換点を超えることで、他の転換点を超えるリスクが高まる傾向にある。気候政策および人類にとって最悪のシナリオは、転換点を超えると、地球システムのフィードバックの連鎖を招き、続いてその他の転換点を超えるドミノ効果が引き起こされることである（図2を参照⁹）。

例えば、北極の海水が減少する中、氷で覆われない水面は一段と太陽放射を吸収し、地域の温暖化を加速させ、極渦やジェット気流などの北半球の大気循環パターンを不安定化させる。これらの大気循環のパターンがさらに不規則になり、北半球の気象に影響を及ぼすことが観察されている。

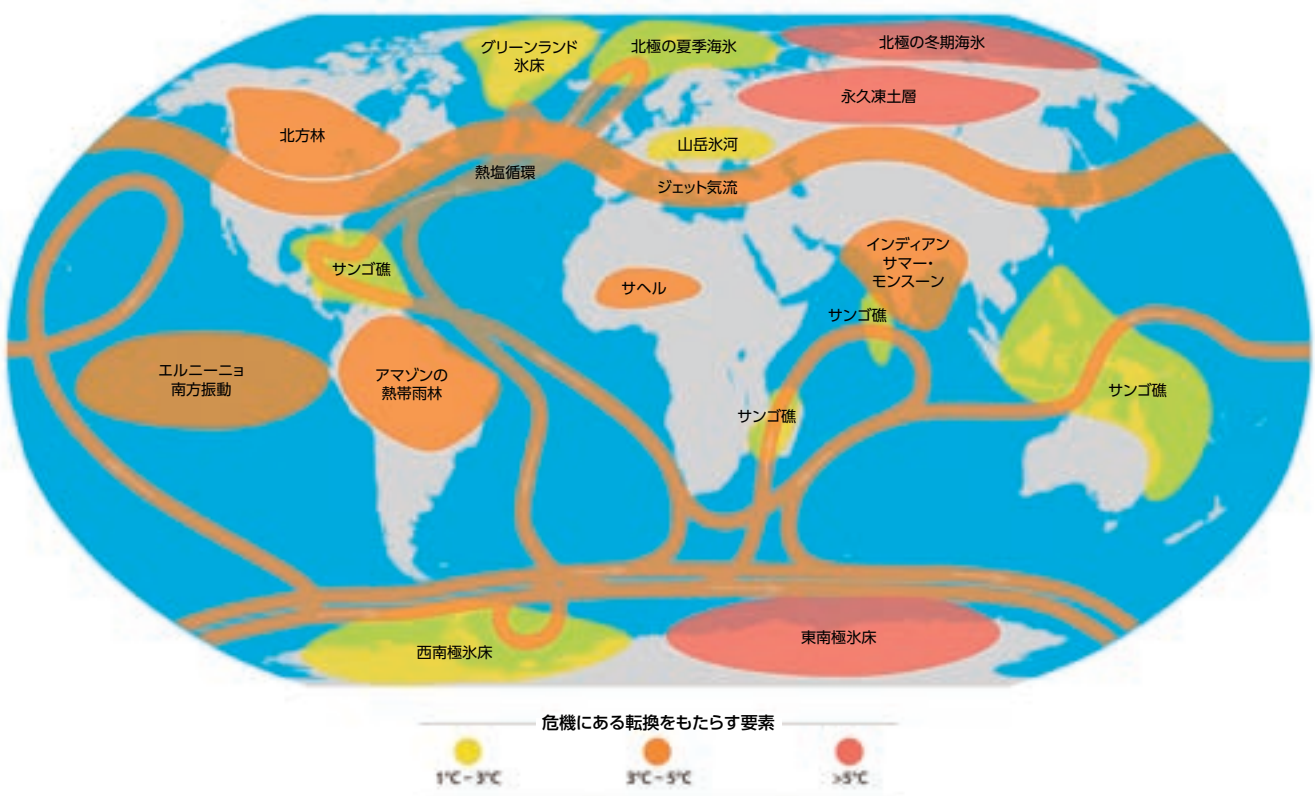


図2：地球システムの転換をもたらす要素

地球の気候を長期にわたり比較的安定させるために、地球システムの主要部分（地域、生物群系および海洋循環）は相互に作用している。しかし、地球の平均気温が上昇すると、地球システムのこれらの部分が状況を急変させ、他の転換をもたらす要素に影響を及ぼす水準まで地球の気温をさらに上昇させ、気候を一段と上昇させる可能性のあるドミノ効果を生む。J. Lokrantz/Azotelによる説明 (Steffen et al. 2018からの引用)

2018年に北半球のいくつかの地域を襲ったかつてない熱波が、こうした変化と関連している可能性があり、カリフォルニア州の深刻な干ばつと北極の変化に関係があることが科学者により提示された^{20,21}。

各国は、危険な気候変動のリスクを最小限に抑えるために、地球の気温の上昇が2℃を十分に下回るようにすることで合意したが、転換点に関する科学者の懸念が一部これを後押しした²¹。しかし、一部の転換点をすでに超えている可能性がある。2℃の目標を超えた場合、不可逆的な4℃以上の気温上昇を招き、海水面⁹を大幅に上昇させる可能性のあるドミノ効果が生じるリスクが急速に高まる。森林の生物群系は、前述の理由、特にCO₂を蓄える機能の低下を理由として、このダイナミクスにおいて特別に重要な役割を果たす。地球の気温が4℃上昇すれば、すべての社会^{23,24}にとって破滅的結末がもたらされると考えられる。

世界のCO₂排出量を2020年がピークとし、その後10年ごとに半減して2050年頃までにカーボンニュートラルを実現することは、気候変動に関するパリ協定と合致する。このシナリオでは、2℃未満の目標²⁵を達成する確率は66%以上である。しかし、気候の安定を維持することは、本レポートで概説されている重要な転換をもたらす要素の一部を構成する主要な生物群系を強靱にすること、したがって、転換の防止を意味することを確認しておく。これには、重要地域において、人口、森林破壊、生息地破壊およびその他の人類からの圧力を制御することが含まれる。

参考資料

1. Hoadley, J. C. (1884). A tilting water meter for purposes of experiment. *Journal of the Franklin Institute*, 117(4), 273-278.
2. Poincaré, H. (1885). Sur l'équilibre d'une masse fluide animée d'un mouvement de rotation. *Acta mathematica*, 7(1), 259-380.
3. Grodzins, M. (1957). Metropolitan segregation. *Scientific American*, 197(4), 33-41.
4. Gladwell, M. (2000). *The tipping point: How little things can make a big difference*. Little, Brown.
5. Milkoreit, M., Hodbod, J., Baggio, J., Benessaiah, K., Calderón-Contreras, R., Donges, J. F., ... & Werners, S. E. (2018). Defining tipping points for social-ecological systems scholarship—an interdisciplinary literature review. *Environmental Research Letters*, 13(3), 033005.
6. Lenton, T. M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J. W., Lucht, W., Rahmstorf, S., & Schellnhuber, H. J. (2008). Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(6), 1786-1793.
7. Steffen, W. (2006). The Anthropocene, global change and sleeping giants: where on Earth are we going? *Carbon Balance and Management*, 1(1), 3. <http://doi.org/10.1186/1750-0680-1-3>

8. USGCRP (U.S. Global Change Research Program), (2017). Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I. Eds: D.J. Wuebbles, D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, T.K. Maycock, 470 pp. Washington, DC, USA, <http://doi.org/10.7930/J01964J6>
9. Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T. M., Folke, C., Liverman, D., ... Schellnhuber, H. J. (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(33), 8252-8259. <http://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
10. Salazar, L. F., Nobre, C. A., & Oyama, M. D. (2007). Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, 34(9). <http://doi.org/10.1029/2007GL029695>
11. Sampaio, G., Nobre, C., Costa, M. H., Satyamurty, P., Soares-Filho, B. S., & Cardoso, M. (2007). Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical Research Letters*, 34(17). <http://doi.org/10.1029/2007GL030612>
12. Lovejoy, T. E., & Nobre, C. (2018). Amazon Tipping Point. *Science Advances* Vol. 4, no. 2, eaat2340. <http://doi.org/10.1126/sciadv.aat2340>
13. Gauthier, S., Bernier, P., Kuuluvainen, T., Shvidenko, A. Z., & Schepaschenko, D. G. (2015). Boreal forest health and global change. *Science*, 349(6250), 819-822. <http://doi.org/10.1126/science.aaa9092>
14. Liess, S., Snyder, P. K., & Harding, K. J. (2012). The effects of boreal forest expansion on the summer Arctic frontal zone. *Climate dynamics*, 38(9-10), 1805-1827.
15. Kurz, W. A., & Apps, M. J. (1999). A 70-year retrospective analysis of carbon fluxes in the Canadian forest sector. *Ecological Applications*, 9(2), 526-547.
16. Burton, P. J., Bergeron, Y., Bogdanski, B. E. C., Juday, G. P., Kuuluvainen, T., McAfee, B. J., ... Hantula, J. (2010). Sustainability of boreal forests and forestry in a changing environment. In *Forests and Society – Responding to Global Drivers of Change* (pp. 247-282). Vienna: IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations) Secretariat.
17. Koven, C. D. (2013). Boreal carbon loss due to poleward shift in low-carbon ecosystems. *Nature Geoscience*, 6(6), 452-456. <http://doi.org/10.1038/ngeo1801>
18. Lucht, W., Schaphoff, S., Erbrect, T., Heyder, U., & Cramer, W. (2006). Terrestrial vegetation redistribution and carbon balance under climate change. *Carbon Balance and Management*, 1(1), 1-7. <http://doi.org/10.1186/1750-0680-1-6>
19. EASAC (European Academies Science Advisory Council), (2017). Multi-functionality and sustainability in the European Union's forests. EASAC policy report 32, April 2017. www.easac.eu
20. Cvijanovic, I., Santer, B. D., Bonfils, C., Lucas, D. D., Chiang, J. C., & Zimmerman, S. (2017). Future loss of Arctic sea-ice cover could drive a substantial decrease in California's rainfall. *Nature Communications*, 8(1), 1947.
21. World Weather Attribution, (2018). Heatwave in northern Europe, summer 2018. <https://www.worldweatherattribution.org/attribution-of-the-2018-heat-in-northern-europe/>

22. Schellnhuber, H. J., Rahmstorf, S., & Winkelmann, R. (2016). Why the right climate target was agreed in Paris. *Nature Climate Change*, 6(7), 649. <http://doi.org/10.1038/nclimate3013>
23. World Bank, (2014). *Turn Down the Heat: Confronting the New Climate Normal*. Washington, DC, USA
24. New, M., Liverman, D., Schroder, H., & Anderson, K. (2011). Four degrees and beyond: the potential for a global temperature increase of four degrees and its implications. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 369(1934), 6–19. <http://doi.org/10.1098/rsta.2010.0303>
25. Rockström, J., Gaffney, O., Rogelj, J., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., & Schellnhuber, H. J. (2017). A roadmap for rapid decarbonization. *Science*, 355(6331), 1269-1271.

生物圏の金融— 金融が気候安定化で リーダーシップを発揮する新たな機会

**「科学的証拠の重要性と金融システムのダイナミクスが相まって、
時期が来れば、気候変動により金融の強靭さおよび長期的な繁栄が
脅かされることが示唆されている。行動を起こす時間は残されているが、
絶好な機会は極めてわずかであり、減ろうとしている」**

マーク・カーニー氏、イングランド銀行総裁、G20 金融安定理事会議長、2015年9月29日の講演
「ホライゾンの悲劇を打ち破る—気候変動と金融の安定」より

過去10年間に環境および社会の成果に対する金融セクターの役割と重要性に対して認識が高まった。金融監督者は視点を広げ始めており（カーニー氏2015年の講演）、多数の組織や機関（赤道原則、国連支援の責任投資原則、国連環境計画・金融イニシアティブ、Climate Futuresなど）が、より環境に優しい金融システムをけん引する上でリーダーシップを発揮している。

我々が直面する気候と環境の大きな課題に対処する上で、金融が変革の推進役にますますなろうとしている中で、「グリーン」金融商品やインパクト投資の開発から、売却、および融資や投資の指針となる持続可能性の方針の策定まで、さまざまな戦略が生み出されている。

これらはすべて、金融セクターが気候変動に取り組むのを支援する方法を後押しする好ましい変化である一方で、社会が現在の気候変動を抑えようと競っている中でリーダーの役割を十分に果たすために、金融セクターは関連して二つの課題に取り組まなければならない。

第一に、持続可能投資を推進するために策定された非線形な地球システムのダイナミクスの戦略およびリスクシナリオに対する認識が非常に限られている。言い換えると、金融セクターがいかに気候変動に対応するかに関する大部分の議論において、前述の眠れる巨人が取り上げられていない。気候の転換点に関する研究で示唆されているダイナミクスは、突然の変化および気温の上昇を急速に加速させる可能性のある自己強化的なフィードバックのリスクを考慮しないと、悲惨な結果がもたらされる可能性があることを示している。

金融業界は、気候政策を変更する可能性（座礁資産および

炭素の将来価格）のみならず気候変動自体の影響により、金融資産をリスクにさらしており、特に転換点を超えた場合には広域的かつ急激になる可能性があり、新たな種類のシステミックリスク（Aglietta & Espagne 2016年）と考えられる。

第二に、現在、気候の課題への対応を目的として考案された「グリーン」金融の取り組み大部分は、再生可能エネルギー、エネルギー効率、低炭素輸送を通じた温室効果ガス排出量の削減を最も重視しており、グリーン債券市場の79%（経済協力開発機構（OECD）、2017年）を占めている。金融セクターが、温室効果ガスを排出し、土地利用を全般的に変化させる経済活動を可能にすることで、気候変動に関与していることは明らかである。また、これが、多くの投資家が責任を担うべきであり、次第に多くの投資家が実際に責任を担っている重要な理由となっている。

気候変動の緩和を議論する上で、排出量削減が最も重要である。しかし、地球の眠れる巨人を目覚めさせるリスクが高まっているため、これらの眠れる巨人の強靭さを高める取り組みが、リスクを管理し、高CO₂社会において気候の安定を維持するための緊急課題となっている。これが、金融セクターが変革的な役割を果たすことができる可能性のある分野である。眠れる巨人と呼ばれる地域に変化をもたらす経済活動に対する影響力を通じて、金融セクターは気候の安定にプラスにもマイナスにも作用する重要な役割を担っている。最も重要なのは、複数の方法で地域および生物群系の強靭さを高め、現在の森林破壊を素早く止める投資戦略である。金融業界は影響力を有し、企業に変革を求め、気候の強靭さを弱めるのではなく高める経済活動に資金を振り向ける手段と力を有している。これは責任であるとともに長期的には利益となる。これに関連して、我々は

投資セクターのインセンティブ構造を変革するという困難な課題に直面している。インセンティブ構造を変革することで、四半期業績目標ではなく、長期的なリスクと投資の機会に重点を置くことができる。

マーク・カーニー氏は2015年9月29日にロイズ・オブ・ロンドンの講演で、「先見の明をもって投資する方が、後に後悔することが少なくなる」とこれを巧みに簡潔な表現で説明している。

参考資料

1. Carney, M. (2015). Breaking the Tragedy of the Horizon – Climate change and financial stability. Speech given at Lloyd's of London, 29 September.
2. Aglietta, M. & Espagne, E. (2016). Climate and Finance Systemic Risks, more than an Analogy? The Climate Fragility Hypothesis. Working Paper, CEPII, No 2016-10 – April. <http://www.cepii.fr/CEPII/en/publications/wp/abstract.asp?NoDoc=9079>
3. OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). (2017). Mobilising Bond Markets for a Low-Carbon Transition, Green Finance and Investment. OECD Publishing, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264272323-en>

投資家および地球システムの転換点

投資を気候の安定とどのように合致させることができるのか。気候変動が地球を深刻なシステムリスクにさらしているという認識が投資家の間で広がっている。経済活動の大部分を占める自然資本（広く生態系サービスとも呼ばれる）は気候変動の影響を一段と受けており、悪天候と長期の気候変動により自然資本と金融資本が毀損するリスクが、特に保険セクター¹に対する大きな経済的影響とともに高まっている。最近の研究において、気候の安定に特に関連する特定の転換をもたらす要素の強靭さを高め、不可逆的な転換点を超えるリスクを軽減することを目的とした、投資決定を支援する新たな手法が確立された。前述の通り、アマゾンと北方林の森林生物群系が対象となっており、眠れる巨人とも関係している。以下で、眠れる巨人と関係している投資家の特定方法における主な段階が概説される。この手法を投資家自身のポートフォリオおよび意志決定プロセスに採用することも可能である。本レポートでは、各投資家が推進する影響戦略については説明を省く。むしろ、この手法では、気候変動を支配する主な生物物理学的プロセスと投資家との関係を評価するための最初の段階が示され、影響力のある投資先企業にいかん資金を配分するのか投資家が意志決定するのを助けるのを目的としている。

段階1：主な転換をもたらす要素および駆動要因の特定

最初の段階では、気候と関連性の強い転換をもたらす要素（もしくは眠れる巨人）のうち、どれが採取的な経済活動の影響を直接受けるか特定する（アマゾンの熱帯雨林およびカナダとロシアの北方林（図3））。気温の上昇と気候変動に関連した降雨のパターンの変化、および強靭さの浸食を通じて人類が現地に直接影響を及ぼすことを考慮して、アマゾンの熱帯雨林およびカナダとロシアの北方林が選択された。他の転換をもたらす要素は、気候変動による末端へのフォーシングを通じて、人類からの圧力をほぼすべて受けている。したがって、気候の緩和は、排出量の削減のみならず、炭素吸収源および水蒸気のフィードバック²を通じて地球システムを調整する、これらの不可欠な生物群系に対する人類からの圧力を軽減することを目的としている。よって、アマゾンと北方林の生物群系は、気候の安定と投資家との最も直接的かつ容易に追跡可能な関係性を提示する。現在、これらの生物群系の強靭さは、温室効果ガスの排出、森林破壊および森林劣化の影響を圧倒的に受けている。アマゾンの森林区域の約64%はブラジルに³、北方林の約70%はロシアに、23%はカナダに属しているため⁴、これら三カ国に対して試験的に分析を行った。

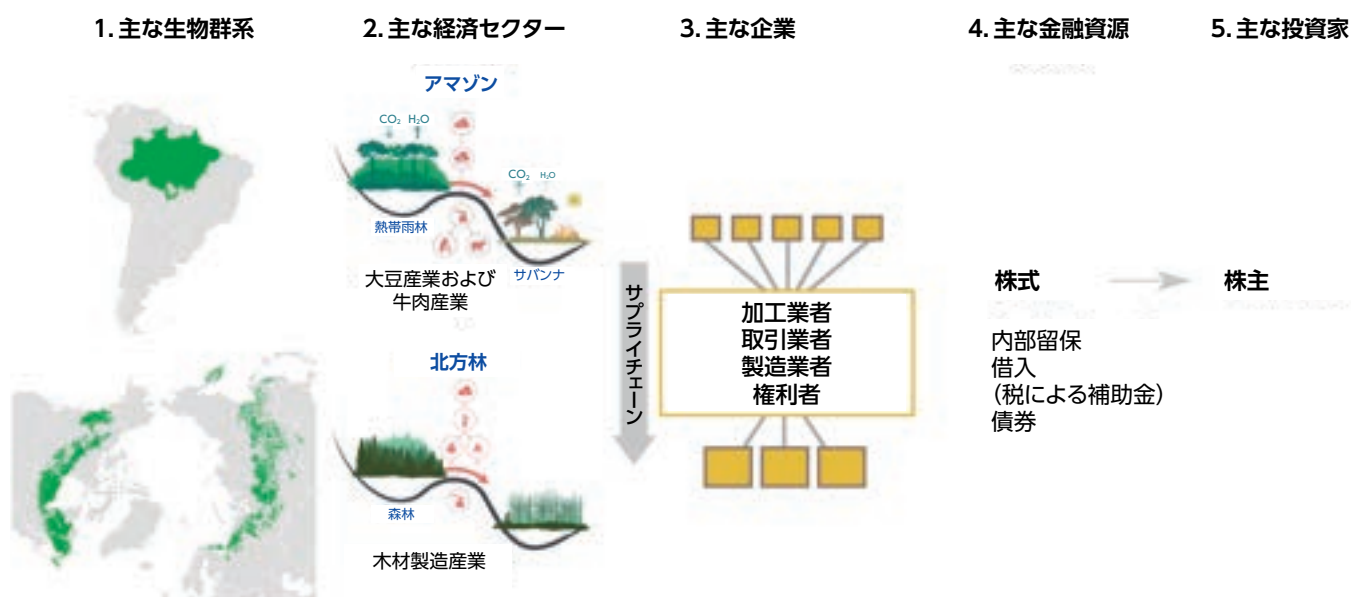


図3：二つの転換をもたらす要素と金融セクターとの関係性を示す試験的手法
Galaz et alから引用（出版準備中）

段階2：転換をもたらす要素の安定に直接影響を及ぼす経済セクターの特定

第二段階では、生物群系の広域的な変化に関係する経済セクターを特定する。国際金融公社（IFC、<https://gmaptool.org/>）が公表しているGlobal Map of Environmental & Social Risk in Agro-commodity Production（GMAP）などのツールを用いて、具体的な農産物を特定することが可能である。このツールは最新データを提供しており、環境・社会のデューデリジェンスとリスク評価を素早く行うことができる。論文、および一般の商業出版ルートでは入手困難な「灰色」文献も、森林破壊のリスクに対するエクスポージャーが過去にあるセクターを特定するためのデータを提供している。科学出版物を利用して、森林の強靱さに関する最重要産業として、ブラジルの牛肉および大豆産業、ロシアとカナダの木材、パルプ、製紙産業を特定した。畜牛セクターがブラジリアマゾンの森林破壊の主な要因である一方で、大豆栽培が牧草地への転換⁵を通じた森林破壊の主な根本要因である。ロシアの伐木セクターは、同国の手つかずの森林の消失の23%を占めていると推定され、一番の要因は人による火事（60%）である。カナダの木伐採は、火事、昆虫の異常発生⁷に続き、森林破壊の三番目に大きな要因（2010年に約70万ヘクタール）となっている。

段階3：主要企業の特定

主な経済セクターを特定した後は、同セクターにおいて最も影響力の大きい企業を特定する。市場シェアによりランク付けし、合計シェアがセクターの少なくとも50%に達するまで、最も大きな企業を選択する。したがって、選択される企業数は市場集中度に左右される。50%という数値は若干恣意的であるが、各セクターの市場集中度がどの程度であろうとも、各セクターにおいて妥当で一貫したシェアを捉えることが可能である。市場シェアの評価に用いる指標はセクターにより異なり、各セクターの特徴およびどの程度データを入手可能かに左右される。ブラジルの大豆および牛肉セクターの場合、サプライチェーンに最も影響力のある企業は、中間部分の加工工場、物流施設（倉庫や輸送など）および取引活動（輸出を含む）を支配する企業である。サプライチェーンのこれらの部分に関しては、既存の調査により、市場集中度が非常に高く、5社がブラジルからの大豆輸出の52%を、3社がブラジルからの牛肉輸出の70%を占めていることが分かった⁸。カナダの木材、パルプ、製紙セクターについては、業界の利権（森林保有権）の規模に基づき企業を選択した結果、15社が全森林保有権の50.2%を占めていることが分かった。ロシアでは、利権のデータを入手できず、売上高を運営規模のおおまかな代理変数として用いて、企業を選択した。木材、パルプ、製紙セクターの上位50社の合計売上高の50.5%を4社が占めている。上位50社のデータから市場集中度

が比較的高いことが分かるものの、ロシアの残りの木材、パルプおよび製紙部門のデータは入手できなかったため、これら上位4社の市場シェアをわずかに過大評価している可能性があることを指摘しておく。

この事例が示しているように、データの解明と入手しやすさは、どのセクターと転換をもたらす要素を対象としているかによって異なる。したがって、関連する状況に応じて指標を採用することが可能であり、またそうすべきである。現在、市場調査および産業レポート・ニュースが、主要企業とセクターの特徴を把握するのに最も重要な情報源である。

以上の作業を経て、気候の安定を促すまたは阻害するレバレッジ・ポイントと見なされる企業のリストが作成される。したがって、投資家による評価と関与の優先順位が決められる。大豆および牛肉セクターの企業の生産の多くが契約農業を通じて行われているため、これらのセクターを森林劣化の直接的な要因とすることはできない。しかし、これらの企業はサプライチェーンにおける最大の取引業者であり、森林破壊をもたらしており、これらの特定セクターの主要企業に重点を置くことで、実際に好影響を素早く及ぼすことができるのは疑いない。

段階4：資金源の分析

経済活動に必要な事業資金の資金源として、銀行からの融資、債券、コマーシャルペーパーなどのデットファイナンス、エクイティ（株式）、そして当然ながら内部留保が挙げられる。内部留保は一部で各司法管轄における税制や助成金の影響を受ける。本試験研究では、対象を上場企業の株式に限定した。第一に、公開情報を入手できない場合、企業のその他の資金調達源に関する情報を、信頼性を持って推定・検証することが困難であることが理由として挙げられる。第二に、株式投資家は企業の資金調達において厳格な役割を果たし、投資先企業の戦略の選択に発言権を有していることが理由として挙げられる。言い換えるならば、株主は配当を受け取る権利と議決権を行使する権利を有している。しかし、同様の分析は、借入（銀行からの融資）および保険が、主な転換をもたらす要素に対する影響を通じた気候の安定の促進に合致しているか評価するのににももちろん使用できる。

前段階で特定された企業の所有者を分析したところ、二社は合併企業、一社は二元上場企業で、親会社全29社の内19社が上場企業であった。データベースのOrbisを用いて¹¹、2016年度以降の最新時点の、0.01%以上を保有する株主のリストを作成した。

段階5：金融の巨人がすべての転換をもたらす要素 およびセクターにおいて存在

本レポートは、調査対象のすべてのセクターおよび国で株式を保有する投資家（ブラジルの主要大豆企業一社以上および主要牛肉企業一社以上の株式を保有する投資家、カナダの主要林産品企業一社およびロシアの主要林産品企業一社の株式を保有する投資家など）を特定するのを目標としている。これらの主に機関投資家は、複数の地域で同時に環境を変化させる要因に影響を及ぼすことが可能であるからである。投資方針およびエンゲージメント戦略を通じて、これらの投資家は基本的に、既知の転換をもたらす複数の要素に同時に影響を及ぼすことができる。とは言えこの方法は、転換をもたらす要素に対するエクスポージャーを評価するために、どの投資家も容易に使用することができる。

調査対象の二つの眠れる巨人の安定に関連するすべてのセクターにおいて、相当な株式を有する16の機関投資家が特定され、これらの投資家を「金融の巨人」と命名した。このリストには、投資運用会社、銀行、年金基金、保険会社などのさまざまな投資家が含まれるが、87.5%を投資運用会社または投資運用会社の支店が占めている。表2にはこれらの投資運用会社のデータが記載されている。これらの資産運用会社が原所有者であることは稀で、持分は何千もの顧客に分配されている。しかし、資産運用会社は、責任ある形（経済性および持続可能性の両面）で、投資の受益者に対して注意義務を有している。したがって、大手資産運用会社は、持続可能性と気候の安定を促す大きな潜在的影響力を有する投資家集団と言える。リストのすべての投資家が、少なくとも主要企業5社の株式を保有しており、3つの投資家がほぼ全社の株式を所有している（本レポートのサンプルでは上場企業19社の内18社）。6つの投資家が一社以上で大口株主（5%以上の株式を保有）となっている。投資家の三分の二が米国を拠点にしている。最大の株式（80億ドル超）を保有する金融機関が、投資先企業で最も多く大口株主となっている(7)。

現在のリストには金融の巨人として16の金融機関が挙げられているが、一部にすぎず、決して網羅されているわけではない。この数は、本試験研究で選択された転換をもたらす要素、セクターおよび主要企業の選択基準に左右される。さらには、株式保有を分析した時期も結果に影響している。

表2：調査対象のすべてのセクターおよび国で株式を保有する資産運用会社の保有状況

	最少	中央値	最多
保有範囲 ^a	5	10	18
株式を5%以上保有している投資先企業数 ^b	0	0	7
保有額(100万ドル) ^c	93	1,137	8,027

a：保有範囲：投資先企業数（上場企業19社の内）

b：株式を5%以上所有している投資先企業数：通常、5%以上所有している株主を大口株主と呼び、企業ガバナンスに相当な影響力を有していると見なされる

c：保有額：上場企業の時価総額に株主の直接または間接的な株式保有率を乗じた額

眠れる巨人に関係する地球の システミックリスクを軽減

株式を有する16の機関投資家によって投資された約450億ドルは、運用資産総額のごく一部に過ぎない。しかし、本レポートは、気候の非線形なダイナミクスと転換をもたらす要素の知識を得ようという短期的な金融のインセンティブが少ない可能性がある一方で、行動することで長期的な金融と持続可能性の恩恵を受けられることを明らかにすることを目的としている。

本レポートを通じて議論されている転換をもたらす要素の一つまたは複数の転換点を超えた場合の経済的影響を正確に推定することは不可能であるが、機関投資家は、それぞれの転換をもたらす要素に関連して、特定の保有銘柄だけではなく、地球規模で経済全般を所有しているため、機関投資家に大きな影響を及ぼすのは明らかである。これらの「ユニバーサル・オーナー」は、経済群およびセクター群に影響を及ぼす地球規模の大きな変動をうまく避けることができない¹²。したがって、基となる生物群系の強靭さを高めるセクターへの投資を可能にする戦略の策定が重要であり、長期的に見て持続可能性と企業の双方にとって有意義である。戦略例として、サプライチェーンにおける森林破壊ゼロ達成のための企業との効果的な取組み、劣化した森林の再生、再植林、植林、生物学的多様性を維持する森林管理の実施（腐敗樹の存在の許容、より非一様な混合種の栽培など）が挙げられる。

景観に及ぼす投資家の影響

投資家にとって実際の影響を理解するための重要な最初の段階は、景観のどの場所に投資が影響を及ぼすのか視覚化することである。例えば、図4 (aおよびb) は、大豆と牛肉セクターの主要上場企業の影響度合いを地図上で示したものである。

次に、投資家の影響力が評価される。株式保有と大口株主の権利を考慮した簡便な採点システムが作成され、投資家の景観レベルでの「作用」を図解する地図の作成に用いられている。図4cでは、本レポートで特定された企業の株式保有を通じて、16の金融の巨人が最も作用する地域の合計が示されている。濃い色の部分は、「作用」スコアが高い場所を示している。作用は以下の方法により計算される。

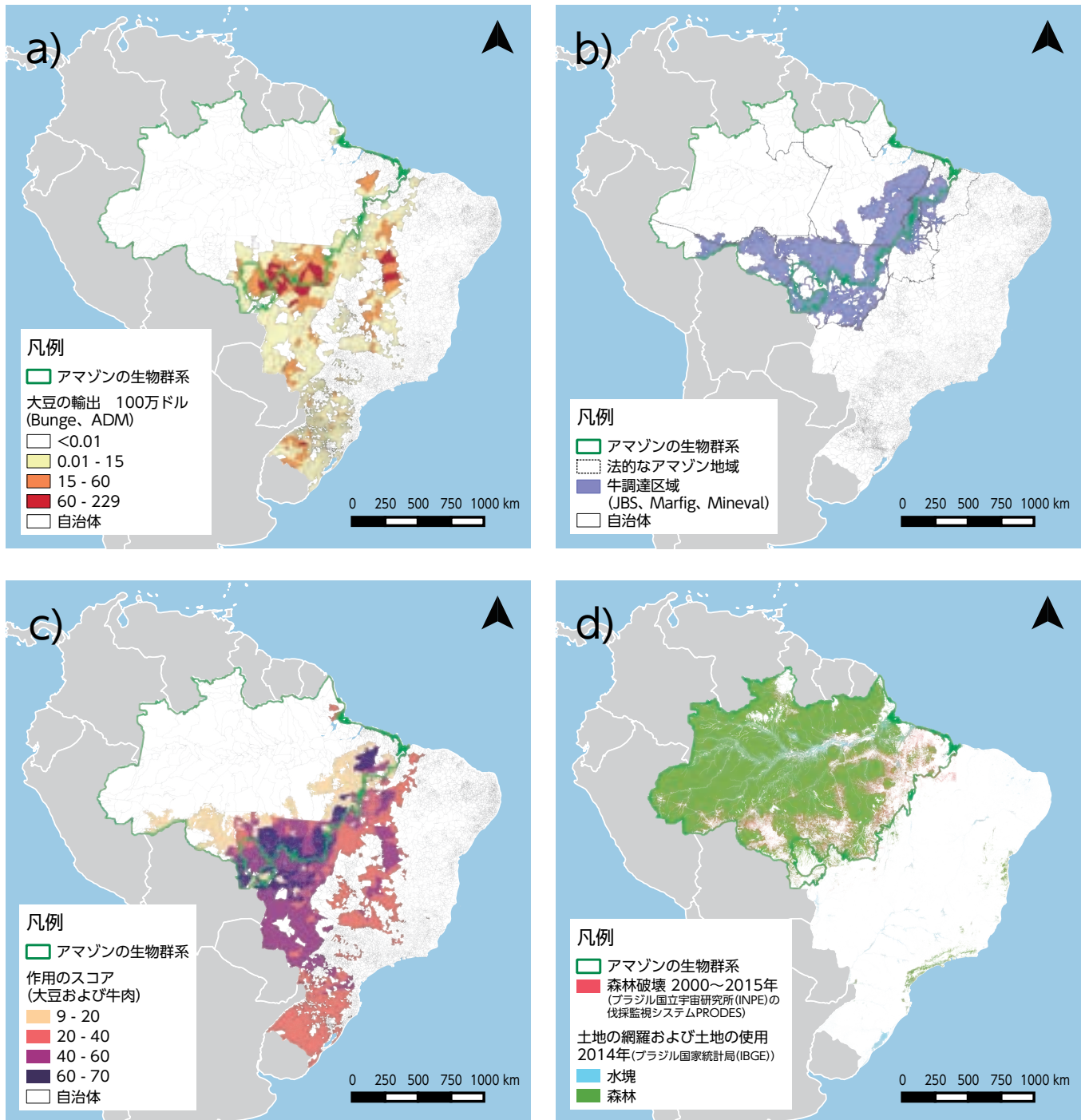


図4：ブラジルアマゾンにおける16の金融の巨人の影響および作用の地図

図aは2015年の自治体ごとの合計輸出に基づいている。図bは牛肉処理場の区域を示している¹⁴。

- ・株式保有比率にかかわらず、株主に1ポイント
- ・5%超保有する大口株主に、追加で2ポイント
- ・投資先企業の上位5以内の株主に、追加で2ポイント（所有構造の違いを勘案するため）

続いて各自治体または現地に、投資先企業の各株主の合計保有ポイントと同ポイントが与えられる。

景観における各投資家の作用を示すために同様な地図が作成される。比較のために、図dでは、2000～2015年の期間におけるブラジリアマゾンの森林破壊の度合い、森林破壊を止め、森林を再生するのに最も注力すべき場所が示されている。

作用の行使

大部分の機関投資家は地球の気候に及ぼす影響に関して十

分に認識しており、投資先企業の年次株主総会の議決権行使を通じてすでに行動を起こしている。いくつかの主な投資家は一貫して2017年に気候変動の解決に対して賛成票を投じており、ますます多くの主な資産運用会社が気候関連リスクのさらなる開示を要求し始めている¹³。本試験研究で特定されている投資家と同様な金融の巨人は、投資先企業のガバナンスに対して影響を強めるよう結集できるのか。このことを評価するために、本レポートのサンプルのすべてのセクターおよび転換をもたらす要素関連して株式を保有する16の投資家の合計議決権を精査した。

図5では、アマゾンの8社の内3社、カナダの北方林の19社の内4社、ロシアの北方林の5社の内3社（内1社は二元上場企業）で、これらの投資家の合計保有比率が10%の閾値を超えていることが示されている。このことは、金融の巨人が、地球システムのいくつかの眠れる巨人の強靱さにまだ行使されていない大きな影響力を有していることを

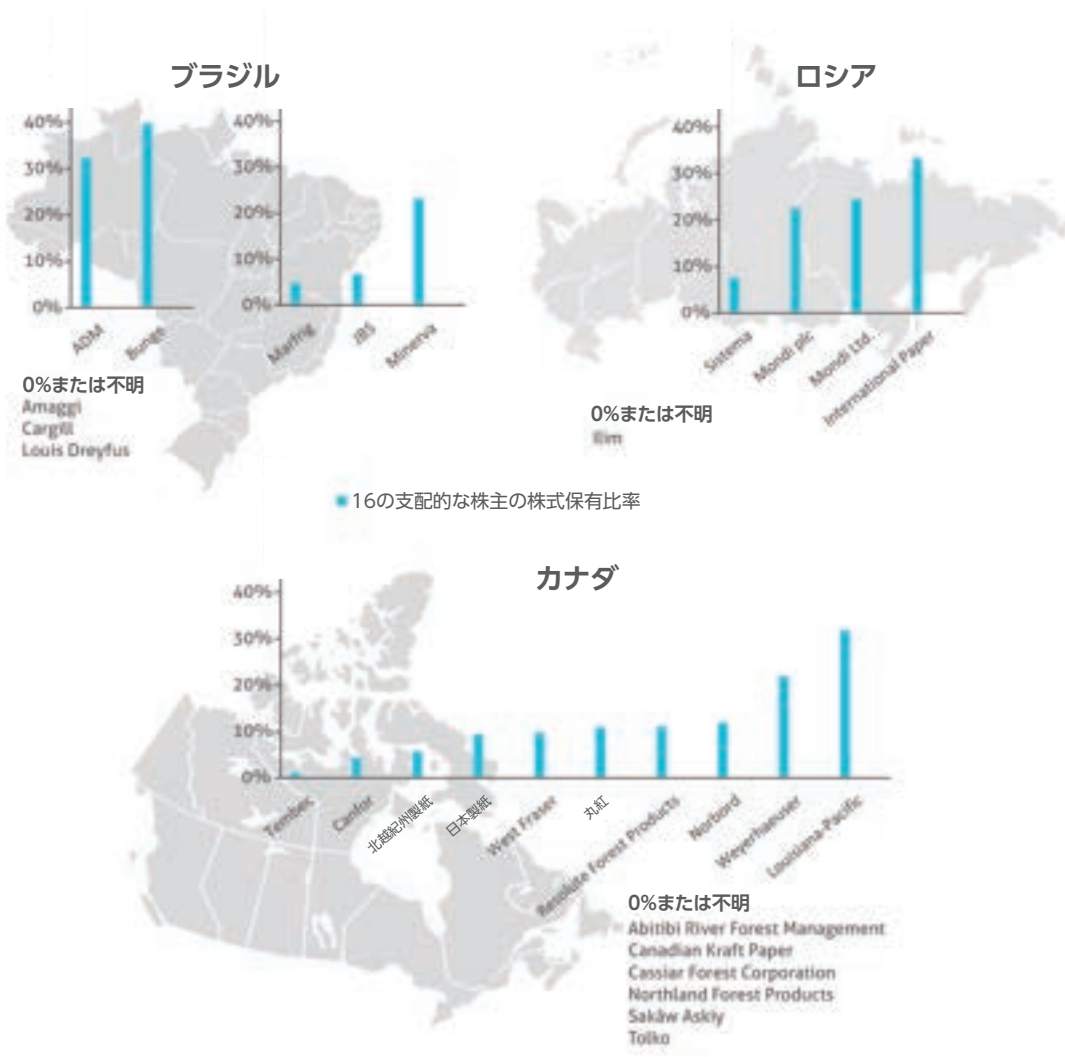


図5：アマゾンの森林（ブラジル）および北方林（ロシアおよびカナダ）の二つの転換をもたらす要素の環境の変動に関連するセクターの主要企業における、16の金融の巨人の2016年末時点の合計株式保有比率
この図は該当セクターの選択された主要企業の合計市場シェアを示している。Galaz et al（出版準備中）からの引用

示している。地球システムのダイナミクスを投資方針の中核をなす検討項目として統合することで、これらの金融の巨人が目覚めるのを期待する。

参考資料

1. Lenton, T., Footitt, A., & Dlugolecki, A. (2009). Major tipping points in the Earth's climate system and consequences for the insurance sector. World Wide Fund for Nature.
2. Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T. M., Folke, C., Liverman, D., ... & Donges, J. F. (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
3. RAISG (Amazonian Network of Georeferenced Socio-environmental Information), (2012). *Amazonia bajo presión*. <https://www.amazoniasocioambiental.org/>
4. Burton, P. J., Bergeron, Y., Bogdanski, B. E. C., Juday, G. P., Kuuluvainen, T., McAfee, B. J., ... Hantula, J. (2010). Sustainability of boreal forests and forestry in a changing environment. In *Forests and Society – Responding to Global Drivers of Change* (pp. 247–282). Vienna: IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations) Secretariat.
5. Barona, E., Ramankutty, N., Hyman, G., & Coomes, O. T. (2010). The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, 5(2). <https://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/5/2/024002>
6. Kobayakov, K., Shmatkov, N., Shvarts, E., & Karpachevsky, M. (2015). *Loss of Intact Forest Landscapes in Russia and Effective Forest Management in Secondary Forests as Its Alternative for Biodiversity Conservation and Sustainable Rural Development*. XIV World Forestry Congress, Durban, South Africa, 7-11 September 2015.
7. Brandt, J. P., Flannigan, M. D., Maynard, D. G., Thompson, I. D., & Volney, W. J. A. (2013). An introduction to Canada's boreal zone: ecosystem processes, health, sustainability, and environmental issues. *Environmental Reviews*, 21(4), 207-226. <https://doi.org/10.1139/er-2013-0040>
8. Stockholm Environment Institute & Global Canopy, (2017). Trase platform. <https://trase.earth/>
9. Global Forest Watch Canada, (2017). Canada's Industrial Concessions 2016, forest tenures [Data file]. Hosted by the Conservation Biology Institute's Data Basin platform. <https://databasin.org/datasets/a50fe27eda8f43f78eb473c380185c0f>
10. Lesnaya Industriya, (2016). Top 50 forest products companies in Russia. <http://www.lesindustry.ru/top/>
11. Bureau van Dijk. (2017). Orbis [Database]. <https://orbis.bvdinfo.com>
12. UNEP FI (United Nations Environment Programme Finance Initiative) & PRI (Principles for Responsible Investment), (2011). *Universal Ownership. Why environmental externalities matter to institutional investors*.
13. ShareAction, (2017). *Warming Up: A spotlight on institutional investors' voting patterns on key US climate change resolutions in 2017*. <https://shareaction.org/resources/warming-up/>
14. Barreto, P., Pereira, R., Brandão Jr, A., & Baima, S. (2017). Os frigoríficos vão ajudar a zerar o desmatamento da Amazônia. Imazon. Instituto Centro da Vida, Belém.
15. Galaz, V., Crona, B., Dauriach, A., Scholtens, B., Steffen, W. (in press). Finance and the Earth system – Exploring the links between financial actors and nonlinear changes in the climate system. *Global Environmental Change*.

一歩先へ

これまで、気候変動対策は主に、まさに必要が迫られている温室効果ガス削減に重点が置かれてきた。その意味において、気候変動金融も違いはない。当然、温室効果ガスは、前例のないスピードと規模で、現在のトレンドと公約の目標をはるかに超えて、削減されなければならない。しかし、残念ながら、CO₂およびその他の温室効果ガスの削減のみに注力するだけでは不十分である。過去および継続的な高レベルの排出により、地球の気温はすでに上昇しており、気温上昇を加速させ、人類社会に対する影響を大幅に強める可能性のある転換をもたらす要素の連鎖を引き起こすリスクに、我々はさらされている。これらの転換をもたらす要素として、広域な生物圏保存地域（北方林、アマゾンの森林など）が挙げられる。これらの保存地域の強靱さを弱めることは非常に危険である。したがって、温室効果ガス削減と同時に、人類はこれら主な転換をもたらす要素、すなわち眠れる巨人の強靱さを高める必要がある。これは、こうした危機にある地域に損害を与える人類の活動を特定し、転換することなしに、眠れる巨人が弱まるのではなく、気温上昇に耐えられるように活動を変革することを意味する。

金融セクターが果たす役割はここにある。企業が長期にわたり持続可能性を発展させる戦略を策定するよう、金融は手段を用いて影響力を行使できる。北方林とアマゾンの森林に関しては、近い将来に森林破壊を完全になくすことを目標として、森林破壊を迅速に減らすこと、および自然を破壊するのではなく再生させる産業を支援することを意味する。義務的および自主的なグリーン金融の取り組み、気候ファイナンス、さまざまなインパクト投資の数は、驚く

ほど増えている。しかし、金融のかなりの部分で、主要な生物群系およびその地球の気候との関係における、転換をもたらす要素に関連したリスクが軽視されている。このことは、金融セクターが、システミックリスクだけではなく、気候の安定への寄与をはっきりと重視する金融イノベーションの新たな創造の可能性を見過ごしていることを意味する。

金融のみが持続可能な気候への移行に対して責任を担えるわけではないが、非常に重要な役割を果たすことができる。政府（公的または一部公的な金融機関を含む）に加えて、企業および市民社会との協力を通じて、気候変動の急速かつ大幅な加速を防ぐ、同様に急速かつ広域的な変化を投資家は起こすことが可能である。世界の金融機関は、気候の安定の重要性が広く認知され、受け入れられるよう働きかけることで、変化が正しい方向に進むよう影響を及ぼす役割を担っている。例として、気候システムの非線形ダイナミクスに関する最新の知識を踏まえて、国家および国際機関に立法を見直すよう圧力をかけることが挙げられる。企業は特定のセクターの転換点に直接関わるアクターであるため（森林破壊および森林劣化を主に理由として）、ガバナンスの優先順位も高い。例を挙げると、農産物と林業物の生産は自然の生態系に大きな負荷をかける一方で、サプライチェーンは複雑で、森林破壊が合法的に行われていることが多い。企業と金融の両セクターには、主要な転換をもたらす要素を守るのを助け、したがって、気候の安定に寄与するガバナンス戦略を策定する経済的および道徳的要請がある。

結論

気候変動が資産に及ぼしうるリスクを評価・考慮することが、金融セクターが気候変動に関する共通する方法と言える。金融に関わるアクターが洪水、移住、紛争、水不足などの物理的なリスクにさらされていることは、炭素価格の上昇、座礁資産につながる新たな規制の制定などの緩和政策のリスクに加えて、モデル化されている。

本レポートでは、金融に関わるアクターがいかに金融に関係した地球のシステムリスクに影響を及ぼすのか精査することで、金融セクターと気候変動の関係を図解するためにさまざまな手法を採用した。機関投資家とユニバーサル・オーナーにとっては、完全に理にかなっているはずである。しかし、金融セクター全体としてポートフォリオをクリーンにし、高いリターンを上げ続けなければならないと我々は主張する。また、地球の経済に関わるアクターには、将来の世代の地球における生存を脅かさないような事業を展開し、投資を行う道徳的要請がある。また、事業を行う社会的ライセンスが、企業が検討すべき要素としてますます重要になっている。この発展を促すために政府が関与した最近の二つの事例として、英国の現代奴隷法（2015年）とフランスの企業注意責任法（2017年に施

行）が挙げられる。現代奴隷法は、奴隷および人身売買に取り組むために採用された措置の開示を企業に義務付けている。企業注意責任法は、人権、および、地球のサプライチェーン全体に適用される活動¹、子会社、下請業者、供給業者の環境の濫用を、企業が特定し、防止するよう法的に義務付けている。

地球とポートフォリオの利益のために、責任を担い、影響力を行使し、リーダーシップを発揮することで、金融セクターは、生物圏のステewardシップと気候の安定に必要な新たな道筋に対して、大きく寄与することが可能である。その一つが眠れる巨人を深く永い眠りに留まらせておくことであり、代替案を誰も望まない。

参考資料

1. Lambin, E. F., & Thorlakson, T. (2018). Sustainability Standards: Interactions Between Private Actors, Civil Society, and Governments. *Annual Review of Environment and Resources*, 43. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102017-025931>

