

【論説】

地球外生命体・スーパーインテリジェンス（超知能）・ 高度知的文明と太陽系・銀河系・全宇宙における エネルギーと資源のコントロール

——究極の「宇宙グリーン犯罪学」の展望——

竹村 典良

目次

- I はじめに
- II 宇宙グリーン犯罪学はどこから来て、どこに向かうのか：
過去・現在・未来の宇宙環境汚染・危害・破壊とその対策・予防
- III 地球外知的生命探査：フェルミパラドックスとドレイク方程式
- IV 地球外スーパーインテリジェンス（超知能）・高度知的文明に
よるエネルギーと資源のコントロール：ダイソン球とカルダシェ
フスケール
- V 結論

I はじめに

人類はなぜ宇宙を目指すのか。人類はなぜ地球外生命体、スーパーインテリジェンス（超知性）、高度知的文明を探し求めるのか。

地球における化石燃料（石炭、石油など）のような再生不可能な資源の供給が減少する一方で、世界におけるエネルギーの需要は増加するばかりである。その結果、世界中の国々は伝統的なエネルギーと資源の代替物を探し求めることが必要になっている。太陽エネルギーは最長で安定した解決方法として最も有力なものであり、円熟した近代的な物質テクノロジーとともに、持続可能なエネルギーと資源を求める環境保護の動向は、太陽エネルギーからの大規模な収穫の可能性に焦点を当てる（Wee）。

現代世界は、広範かつ将来的なエネルギーの解決方法であり、理想的かつ究極的な宇宙ベースの太陽エネルギーに向けられた研究と事業に対して、実りある投資をすべく協力しなければならない。現在、宇宙ベースの太陽エネルギーの実現に向けて徐々に研究が進みつつある。持続可能なエネルギーの鍵は宇宙にあり、未来における人類のエネルギーに対する希望の光は存在する (Wee)。

地球外高度知的文明は宇宙ベースの太陽エネルギーと私たちの知らない他の持続可能なエネルギーを有効に使用する技能を持っていると考えられている。本稿では、持続可能なエネルギーと資源をコントロールする方法について示唆を得るために、地球外生命体・スーパーインテリジェンス (超知性)・高度知的文明に関する諸概念及び諸研究 (地球外知的生命探査、フェルミパラドックス、ドレイク方程式、地球外スーパーインテリジェンス (超知性)・高度知的文明によるエネルギーと資源のコントロール、ダイソン球、カルダシェフスケール) について検討がなされる (Takemura, 2022b)。

II 宇宙グリーン犯罪学はどこから来て、どこに向かうのか： 過去・現在・未来の宇宙環境汚染・危害・破壊とその対策・予防

1. 宇宙グリーン犯罪学の現段階

1) 課題

近年、宇宙探査・開拓・開発が活発になり、地球・地球外天体・太陽系・銀河系・全宇宙の起源・歴史・形状・構成・全貌・状態などに対する科学的関心ばかりでなく、2022 年から始まった「アルテミス計画」に見られるように、地球外天体における開発拠点の設置、資源採掘、植民地化、惑星・天体地球化などに向け、着実に歩みを進めている。しかしながら、人類による宇宙活動によって発生する宇宙の環境汚染・危害・破壊にはほとんど関心が向けられていない。これまでに地球環境が著しく汚染・破壊されてきたように、人新世、宇宙資本主義に基づいて、宇宙探査・開拓・開発が無制限に展開されるならば、宇宙環境は著しく汚染・破壊されるであろう。新しく生み出された「宇宙グリーン犯罪学」(Astro-Green Criminology) の考え方に基

づいて、宇宙環境汚染・危害・破壊の現状と対策、将来予測と予防策について調査研究し、太陽系、ひいては、銀河系、全宇宙における環境保護、エネルギーと資源のコントロールのあり方について理論的考察ならびに実践的提案を行うことが喫緊の課題となっている（Takemura, 2019）。

2) 学術的背景

第一に、人類の宇宙活動の捉え方について、最初に登場したのは「フロンティア開拓」(frontier exploitation) の考え方である。宇宙開発支持者たちは、太陽系を開拓のための探査の対象とし、私的所有要求、資源開発、商業的展開を促進した。この考え方は、太陽系と広く開かれた宇宙の超越、無限の資源、すなわち、「宇宙フロンティア」の考えを体現しており、開拓者、都市入植、征服などのイメージとともに、宇宙開発に関するレトリックにおいて支配的な比喩となっている。

第二に、これに対して、宇宙横断的な惑星保護政策において、「未開地保護」(wilderness protection) の考え方が対置される。未開地保護は、環境保護・保全の価値を宇宙探査に適用するという見解に基づいて提示された。太陽系を開拓されるフロンティアとしてではなく保護すべき未開地として取り扱うことにより、環境汚染・危害・破壊、人工的なゴミ、核兵器、原子力の宇宙への持ち込みを阻止し、私的あるいは国家的な所有の主張を禁止することができる。

第三に、太陽系、ひいては、銀河系、全宇宙の環境を保護・保持することを重視する考え方は「宇宙環境保護主義」(astroenvironmentalism) と呼ばれる。惑星を開発し利用しようとする者は、彼らの活動による環境への影響を十分に検討せず、天体の地表・地表下の原初状態を保護せず、惑星、小惑星、衛星の起源や発展に関する原初の証拠が将来の天文学者に残されない。しかしながら、宇宙環境保護主義の立場からすれば、ミッションの影響と科学的帰結、あるいは、それらによって得られる可能性のある他の利益の間にバランスが取られなければならない。核心的問いは、「人類は、宇宙活動（地球外天体の採掘や植民地化など）によって、地球外天体（月、火星、小惑星など）の環境を汚染・破壊する権利を有するのであろうか。」である。

3) 必要性、独自性、創造性

第一に、宇宙における環境汚染・危害・破壊に関して、過去及び現在の状

況について調査研究し、将来において生じるであろう環境問題を予測し、宇宙開発の可否を問い、可とした場合に開発と環境保護を両立させるために必要な手段・方法（宇宙法、国際法、国際条約による規制など）を提示しなければならない。第二に、個々の天体ばかりでなく、太陽系、銀河系、全宇宙におけるエネルギーと資源をコントロールするセンター、紛争解決のための宇宙環境裁判所を創設する基礎が確立されなければならない。

「宇宙グリーン犯罪学」(Astro-Green Criminology) は、世界で初めて Takemura, N. によって考案され、調査研究が進められている最新の犯罪学である (Takemura, 2019)。地球外宇宙における宇宙環境汚染・危害・破壊を「グリーン犯罪学」の視点から捕捉し、地球上で犯された著しい環境汚染・危害・破壊を地球外宇宙において繰り返すことのないように、宇宙探査・開拓・開発について、過去・現在の「負の遺産」としての宇宙環境汚染・危害・破壊（地球外天体探査の残骸、地球周辺に残留するスペースデブリなど）の実態を明確にし、対策を講じるとともに、近未来の「負の遺産」となり得る可能性のある、人類の宇宙活動による宇宙環境の汚染・危害・破壊を予測し、予防策を考えるという点に独自性がある。

現状では、宇宙環境をどのように定義すべきか、何を以って宇宙環境の汚染・危害・破壊とするのか、宇宙環境汚染・危害・破壊の質と量をどのように捉えるべきか、など、明確でない部分が多い。したがって、宇宙環境汚染・危害・破壊について、これまでの宇宙活動で何が行われたのか、現在何が行われているのか、将来何が行われるのか、認識が不十分であり、予測も不確実であり、実際に対策や予防策を講じることが困難である。今後、人類による多様な宇宙活動が展開される可能性が高く、予測される宇宙環境汚染・危害・破壊ばかりでなく、予測を超える宇宙環境に対する汚染・危害・破壊の発生、そしてこれらにどのように対処するか、は未開拓かつ創造的な調査研究分野である。

4) 歴史的経緯と関連する国内外の研究動向

地球上の殆どすべての地域で発生している環境汚染・危害・破壊の調査研究をしている中で、第一に、地球近傍周辺宇宙にスペースデブリ（宇宙ゴミ）が蓄積・滞留し、軌道上を高速で移動し、軌道上の物質との衝突・破壊を繰り返し、国際宇宙ステーション、人工衛星などを脅威に晒していること

が明らかになり、地球近傍周辺宇宙における環境汚染・危害・破壊について調査研究することが必要である。第二に、探査機 (ハヤブサ、ハヤブサ2、MMX など) で太陽系の天体 (小惑星イトカワ、火星の衛星フォボスなど) から現地の砂や岩を持ち帰る「サンプルリターン」、民間企業の宇宙活動への参加 (民間月着陸船 HAKUTO-R の打ち上げ、探査機器の輸送、資源調査など)、月面有人探査計画「アルテミス計画」(月の上空に宇宙ステーション「ゲートウェイ」を建設し、月面基地を設け、資源開発を行い、水分解等により宇宙船の燃料を製造し、火星などの地球外天体への進出を目指すプロジェクト) など、宇宙探査・開拓・開発が積極的な展開を見せている (日経サイエンス編集部, 2023: 58-69頁; 北原; 寺蘭; JAXA 宇宙大航海時代検討委員会; Hawking; Davenport; 大貫)。しかしながら、宇宙資本主義、人新世に基づく宇宙活動は、宇宙開拓・開発を重視し、宇宙環境の保護の視点を欠いている。地球外宇宙において、地球上で生じた環境汚染・危害・破壊が繰り返されるのではないかと危惧される。第三に、人類による宇宙活動のあり方について、基本的な考え方、行動理念、倫理問題などについて検討し、実践的な行動指針、具体的な行動計画を提示することが必要である (Schwartz *et al.*; 伊勢田他; 稲葉; 岡田他)。

「宇宙グリーン犯罪学」(Astro-Green Criminology) は、2018年に Takemura, N. が世界で初めて考案し、同年のアメリカ犯罪学会年次大会で発表し、2019年に論文を発表した (Takemura, 2019)。この研究に関心を持った Lampkin, J. A. (Leeds Trinity University, UK) は、Astro-Green Criminology を展開する研究を開始し、「宇宙政策」(Astropolitics) 誌にその成果の一部を発表している (Lampkin)。Tourangeau, W. (University of Lincoln, UK) も「批判的犯罪学」(Critical Criminology) 誌に発表した論文で Astro-Green Criminology を注目すべき「新たなパラダイム」であると積極的に評価している (Tourangeau)。Palgrave Macmillan (UK) 社も Astro-Green Criminology に関心を寄せ、Palgrave Studies in Green Criminology シリーズの1冊として体系書の刊行が決定し、プロジェクトが進められている (*Astro-Green Criminology: Analysing Human Relationships with Outer Space*. Palgrave Macmillan)。これに先立ち、「宇宙グリーン犯罪学」(Astro-Green Criminology) という名称は用いていないものの、実質的には

その内容を先取りし、スペースデブリ (宇宙ゴミ) に関する黎明的な調査研究が行われている (Takemura, 2012)。

このような動向の中で、2018-19 年の端緒的研究、及び、2011-12 年の黎明的研究を展開し、過去・現在・未来における人類による宇宙活動による宇宙環境の汚染・破壊、宇宙環境に対する未曾有の危害の発生について、より総合的に調査研究を進めるプロジェクトが開始されている (竹村, 2022a; Takemura, 2022b; Takemura, forthcoming)。

2. 現在までの研究状況・成果と将来における研究計画

1) 現在までの研究状況・成果

現在までに、グローバルな環境犯罪・エコ犯罪の大規模発生による危機的な現状、および、その統制の複雑性・不確定性について、複雑系犯罪学理論の方法を基盤として、犯罪現象の複雑性、原因と結果の複雑な関係、線形性から非線形性への科学認識のパラダイム転換を中心に調査研究を遂行してきた。

第一に、科学研究費補助金による研究「複雑系の犯罪学に関する研究」(2001 年度～2003 年度) (課題番号: 13620074) (研究代表者) を遂行した。現代社会における高度に複雑なシステムは、単純かつ線形的な分析によってモデル化することは困難であり、数百、数千、あるいはそれ以上の変数の相互作用を静的に分析することはほとんど価値がない。現代社会システム及び諸現象は、非線形的で、予測不可能で、制御不可能であり、これらの作動を科学レベルでよりよく理解するためには、ダイナミックなリアリティを捕捉する新しいカオス・複雑系理論が必要になる。複雑系犯罪学はこのカオス・複雑系理論を犯罪学に応用した新たな研究領域である (Takemura, 2005; Takemura, 2007a)。

第二に、科学研究費補助金による研究「地球環境危機における複雑系グリーン犯罪学に関する研究」(2008 年度～2011 年度) (課題番号: 20530060) (研究代表者) において、地球の周りを埋め尽くし、環境を破壊する宇宙ゴミの現状と対策に関する調査研究、地球規模の環境破壊とその危害の不平等・不公正配分に関する調査研究、環境破壊と文明破壊、環境と人間の関係を素材とするグリーン犯罪学の時空統一理論の可能性に関する調査研究、を

遂行した（Takemura, 2012; Takemura, 2010a; Takemura, 2010b; Takemura, 2007b; Takemura, 2013; 竹村, 2014a; 竹村, 2014b; Takemura, 2015）。

第三に、科学研究費補助金による研究「科学技術の進歩、社会の発展による環境・エコ犯罪とその対策に関する研究」（2015年度～2018年度）（課題番号：15K03181）（研究代表者）において、宇宙資源採掘（月、地球外惑星・小惑星など）による環境汚染・危害・破壊とその影響に関する調査研究、を遂行した（Takemura, 2019; Takemura, 2021a; 竹村, 2021c）。

第四に、科学研究費補助金による研究「南北統合グローバル・グリーン犯罪学と国際環境裁判所の創設に関する調査研究」（2019年度～2022年度）（課題番号：JP19K01353）（研究代表者）において、人類の宇宙活動による宇宙環境の汚染・危害・破壊と「宇宙グリーン犯罪学」「宇宙環境刑法」の基本構想に関する調査研究、太陽系・銀河系・全宇宙レベルにおけるエネルギーと資源のコントロールに関する Astro-Green Criminology の窮極的なモデルに関する調査研究、を遂行した（竹村, 2022a; Takemura, 2022b; Takemura, 2021b; Takemura, forthcoming）。

2) 将来における研究計画

「宇宙グリーン犯罪学」に依拠し、宇宙環境の汚染・破壊、宇宙環境に対する危害に関して、過去及び現状についての状況把握と対策、近未来における発生予測と予防策について、より詳細かつ具体的な調査研究を行う。

a) 探査：調査研究

第一に、これまでの宇宙探査で、どこで、どのような汚染・危害・破壊が発生しているのか、過去の探査記録に関する詳細な情報を収集・分析し、現状を正確に把握するとともに、その除去・修復方法について検討し、今後の再発防止について考察し、具体的方法を提示しなければならない。

b) 資源採掘：産業活動

第二に、将来において展開が予想される地球外天体における資源採掘について、どこで、どのような採掘が計画されているのか、それによってどのような環境汚染・危害・破壊が発生するかを予測し、その発生を予防するための手段・方法について考察し、具体的な提言をしなければならない。

c) 植民地化と惑星地球化

第三に、人類が地球外惑星ほかの天体を植民地化し、惑星地球化・天体地

球化することによって、どこに、どのような汚染・危害・破壊が発生するのかについて、これまでの探査によって得られた詳細な情報を分析・検討することによって予測し、発生を予防するための手段・方法について考察し、具体的な提言をする必要がある。同時に、地球外天体への植民地化、地球外天体の地球化の意味、必要性、正当性などについて考察しなければならない。

d) 国際条約、国際宇宙法、統治システムの不備：自由競争

第四に、宇宙開拓・宇宙資源開発の現状は、環境保護が十分でなく、エコロジーの侵害に対する対策も欠如している。その結果、人類全体の利益に対する配慮が欠け、先進国だけが地球外宇宙の利益を享受することになる虞があり、公正かつ安全な環境を作り出すためには、国際的な規制が必要である。主として 1967 年の地球外宇宙条約 (Outer Space Treaty 1967) 及び 1979 年の月協定 (Moon Treaty 1979) に代表される既存の国際宇宙法は、現在における宇宙活動に対応できていない。法と秩序に基づく宇宙資源の開発のための基盤を提供する明確でグローバルな国際条約、国際宇宙法、宇宙統治システムが必要である。国家、民間企業、両者の共同機関によって積極的な活動が展開される現状において、これまでの条約、宇宙法などの現状と問題を明らかにし、現在および将来的にどのような国際条約、国際宇宙法、宇宙資源・エネルギー統治システムが必要であるのかを具体的に提示しなければならない。また、近未来・将来に予想される宇宙環境汚染・危害・破壊の発生を予測し、予防するための「宇宙環境保護センター」(Astro Environmental Protection Center)、近未来・将来に予想される宇宙資源・エネルギーをめぐる紛争に対処するための「宇宙環境裁判所」(Astro Environmental Court)、その基盤となる「宇宙環境刑法」(Astro Environmental Criminal Law)、「宇宙環境刑事手続法」(Astro Environmental Criminal Procedure Law)、「宇宙環境刑事政策」(Astro Environmental Criminal Policy)などを構想し、実装するための基盤形成、条件整備等について検討し、具体的な提案を行わなければならない。

Ⅲ 地球外知的生命探査：フェルミパラドックスとドレイク方程式

1. フェルミパラドックス：「みんなどこにいるのか。」

イタリア生まれで後に米国に帰化した物理学者の Enrico Fermi は、なぜこれまで人類は地球外文明とコンタクトを取ることがなかったのかと問うた。フェルミパラドックス (Fermi Paradox) は、ロス・アラモスにおける Fermi といく人かの同僚のランチタイムにおける会話を起源とする。彼らは、エイリアン社会の存在の可能性、及び、光速を超える旅行が実現可能かどうか、について論じていた。この機会が、Fermi をして「みんなどこにいるのか」という疑問を提示するように導き、初めは無邪気に思えた質問が、後に地球外文明の探査にとって大きな意味を持つようになった (Petrikowski, 82, 92)。

Webb, G. によれば、生命体が生息する世界が地球外に存在するという考えは、人類の歴史を通じて存在し続けてきた。Fermi は、いくつかの理由を提示し、初めて、知的エイリアンの存在を証明するものが地球に存在しないことによって提示される問題を明確にした。彼は歴史上初めて人類が星間旅行に必要なエネルギーを生み出す方法を知ることができた核の時代を惹起する主役であったがために、「みなどこにいるのか」という重大な疑問を発見するまでには時間がかからなかった。しかしながら、フェルミパラドックスは、不在の証拠が提示され、問題に言及する便利な方法が必要とされる時まで、想起されることはなかった。フェルミパラドックスによれば、知的で星間旅行とコミュニケーションのできるエイリアンが存在する証拠が存在しなければならぬが存在しない (Webb, G., 198; Gray, 2015; Hart)。

また、Webb, G. は、パラドックスは「なぜ」「どのように」という疑問を惹起すると指摘する。なぜエイリアンが存在すべきなのか。どのようにしてエイリアンが存在しないことを知ることができるのか。前者は、知的で星間旅行をする生命体の典型的な発展として人間の文明を指摘することにより、後者は、私たち自身のような文明の発展に必要な条件は宇宙の中で一般的であることを示す天文学的証拠の増加により、それぞれ提示される。専門的な知的能力のある生命体が宇宙のどこにも存在しない、と確実に言うことはで

きない (Webb, G., 198; Webb, S., 2015; Webb, S., 2011)。

さらに、Armstrong, S. と Sandberg, A. は、知的生命体の銀河間拡散とフェルミパラドックスの先鋭化について論じる。フェルミパラドックスは、エイリアン知的生命体が発生する大きな可能性とその発生についての可視的な証拠が不在であることとの不一致を意味する。星間移動文明にとって、星間の移動、到達可能な宇宙への植民プロジェクトを始めることは、エネルギーと資源をそれほど使用しない、相対的に単純な任務である。近い将来、人類もそのような植民プロジェクトを成し遂げることができであろう。ある種の技術的な条件が整えば、ダイソン球の建設、繰り返し使用することのできる宇宙探査機的设计、遠隔銀河への打ち上げなども実現することができるであろう。私たちが到達できそうな数百万の銀河が存在する。その結果、フェルミパラドックスは著しく先鋭化する (Armstrong and Sandberg; Ćirković, 2018; Ashkenazi; Matloff; Besteiro; Brandt *et al.*; 佐々木)。

探査方法の発展とともに、地球に類似する地球外惑星が新たに発見され、電波信号と観察による地球外知的生命体の探査は進歩し続けてきた。しかしながら、この極めて複雑な探査において高い価値を有するアルゴリズムについて新鮮な議論が促されなければならない。地球に類似する地球外惑星は生命を維持し、高度な技術を有する文明の発展を支えることができるが、現在までのところ、地球外生命探査は結果を出していない。地球外知的生命体の探査のための観察の失敗は良く知られており、新たな探査方法が必要である。最新の低コストで超高速多重プロセッサを使用する多様な捕捉アルゴリズムが比較検討されなければならない。不可知エントロピー (agnostic entropy) や高感度ブラインド信号抽出アルゴリズム (high-sensitivity blind signal extraction algorithm) のような全く新しい方法により、地球外知的生命体の探査に飛躍的進歩がもたらされなければならない (Montebugnoli *et al.*; Roush, 115-159, 166-184; 河原; フォルガー (Folger), 52-59; 日経サイエンス編集部, 2023; 30-57; 日経サイエンス編集部, 2014; 渡部)。

Billings, L. によれば、地球外生命が存在する証拠の探索は、私たちの生態系の概念、私たちの惑星とそこでの私たちの位置付けに関する考え方、近傍あるいは遥か彼方の地球外生態系の存在可能性に関する見方に影響を及ぼした。マクロならびにマイクロレベルにおける生命と環境に関する専門家の理解

は、過去 50 年間で著しく変化した。宇宙生物学、惑星探査、地球外惑星科学はこの理解の変化に重要な貢献をなした (Billings, 251-252; Vakoch, 2013)。

また、Billings, L. はいくつかの質問を提示する。宇宙における人類の未来に関するどのような見方が勝利を得るのであろうか。地球外環境を征服し、搾取すること、人類の文化が地球上で行った破壊的实践を遂行し、それを地球外生態系にも拡張すること、が目的になるであろうか。あるいは、生命を発見するための探査、生命を探索するための地球外環境のロボット探査、地球外生態系の保存であろうか。スペースシップ・アースにおける人間の平和的共存のビジョン、および、地球上の生命を保存し、地球外の生命を探索するために共働する必要性を受容することができるであろうか。政府と企業がそのようなビジョンを受け入れることができるであろうか。以上を踏まえ、Billings は、宇宙生物学が、窮極的に、注意深く、心配りのある生命探査に焦点を当てる宇宙旅行文化が促進されることを期待する (Billings, 255)。

さらに、Lupisella, M. によれば、地球外生命、とりわけ、生命の独立した起源の探索と発見は、3つの相関領域 (認識論、価値論 (倫理)、世界観) において興味深い哲学的問題を惹起する。第一の認識論では、a) 唯一の生物学の知識の限界、b) 生物の独立起源の識別、c) 地域あるいは全惑星の生物学的状態の評価、が問題となる。第二の価値論では、a) 独立生物と惑星間移動の対立の役割、b) 人新世から宇宙までの倫理観、c) 政策への潜在的影響、が問題となる。第三の世界観では、a) 任意性と機会 (偶有的宇宙)、b) 目的と意味 (計画的宇宙)、c) 文化的存在の価値付けによる意味と目的の発生 (ブートストラップ宇宙)、が問題となる (Lupisella, 2009, 186-202; Dick, 2013; Battaglia)。

2. ドレイク方程式

1) 定義

ドレイク方程式 (Drake Equation) は、1961 年に米国の天文学者・天文学物理学者である Frank D. Drake によって考案された方程式であり、天の川銀河において発見することができる地球外文明の数を推定するのに用いられる (Petrikowski, 92)。King, C. によれば、それは宇宙生物学の領域および地球外文明の探査に用いられる。Drake は、多数の地球外文明が形成され

るであろうが、そのような文明の証拠が欠如するのは、技術的な文明がかなり急速に消滅する傾向があることを示唆している、と指摘する。この点で、ドレイク方程式はフェルミパラドックスと密接な関係があり、人類が消滅する方法を確認し公表することに対する関心と呼び起こし、そのような破壊を回避し最終的には宇宙を移動する生物種となる希望を打ち砕く (King, 75)。

ドレイク方程式は次のように表される。

$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

それぞれのパラメーターが意味するのは以下の通りである。

R^* = 天の川銀河で 1 年間に生れる恒星の数

f_p = その恒星が 1 つ以上の惑星を持つ割合

n_e = その惑星系で、生命の生存に適した環境を持つ惑星の数

f_l = その惑星上で実際に生命が誕生する割合

f_i = その誕生した生命の中から知的生命が誕生する割合

f_c = その知的生命が電波通信の技術を持つ文明になる割合

L = その文明が継続する時間 (年)

Dick, S. L. によれば、ドレイク方程式右辺のはじめ 3 つのパラメーターは天文学的で宇宙発展の過程を、次の 2 つのパラメーターは生命の起源に端を発する生物学的発展の過程を、そして最後の 2 つのパラメーターは文化的で文明とその文化的発展をそれぞれ反映している。文化的発展は宇宙の発展とドレイク方程式の統合部分として見られなければならない。また、知性の大部分が技術的・人工的で、その進歩と永続が文化発展の中心的原動力である「ポスト生物学的宇宙」(postbiological universe) に考察が進み、今日では、宇宙学者により宇宙の発展と生物学的発展の関連が探求されている。宇宙学者は、生命の存在に必要と思われる、私たちの宇宙における物理定数の微調整の説明を試みる (Dick, 2003; Pilcher *et al.*, 164; Beech, 9-11; Loeb, 91-93; Pierce, 121-133; Chick; Vakoch *et al.*, 2011, 12-15; Shostak, 2011a, 37-41; Shostak, 2011b; Denning, 74-82; 木村, 152-173)。

2) 評価と批判

ドレイク方程式は、関係する可能性のあるパラメーターをすべて含んでいるのではなく、非常に単純なモデルである。それは地球外文明探査 (SETI) コミュニティの関心を引くコンタクトの横断面であるがために、ドレイク方

程式の多数の付加的要因と修正が提案されてきた。それらには、同じ惑星で文明が再出現する時間数、植民地化され居住地を形成することができる近傍の恒星の数、他の諸要因が含まれる (King, 77; Molina; Cooper, 229-259 (261-294); Zaitsev; 阿部, 207-219)。

ドレイク方程式に対する批判は、方程式で用いられているいくつかの用語が大部分あるいは全く推測に基づいているという批評にしがっている。いま一つの異論は、ドレイク方程式が「文明はオリジナルな太陽系の中で発生し死滅する」と仮定することにある。もし、星間植民が可能ならば、この仮定の妥当性が失われ、それに代わる人口移動の方程式が適用されることになる。そのような批判に対する一つの回答は、ドレイク方程式が現在のところ測定不可能なパラメーターに関する推測を含むとしても、科学としてではなく、当該問題に関する議論を促す手段となることを意図していた、というものである。それならば、次にどのように経験的に議論を進めるかが焦点となる。そのような批判に対するいま一つの回答は、ドレイク方程式はいくつかの見積もられた要因の掛け算を含むフェルミ問題であり、そのような計算は見積要因に矛盾のないバイアスは存在しないとした初期の仮定と比べより正確である、とする。なぜならば、もし矛盾のないバイアスが存在しないならば、過大に見積もられる要因と過小に見積もられる要因が存在し、そのようなエラーは部分的に相互に排除し合うからである (King, 77, 83; Vakoch *et al.*, 2015; Michaud; Hawksett; Loh-Hagan; Al-Khalili, 188-196 (273-286); Ulmschneider; Launius, 342-345 (342-345); Kaku, 2019, 225-246 (302-331); Dator, 87-96; 山岸, 2013, 273-295; 山岸, 2016, 1-19, 280-307; 日経サイエンス編集部, 2017; 長沼・井田, 160-200; 矢野; 滝澤, 219-226; 荒船, 164-178; 小林)。

また、Mix, L. によれば、生命を発見する可能性に関する計算は、生命とそれらの関係に関する暗黙の前提に支えられている。ドレイク方程式はコミュニケーションのできる文明の数を計算するもので、方程式の右辺はパラメーターの3つのセットによって構成される。はじめの3つは居住可能な惑星の可能性、次の3つは生命の可能性、最後の1つは発達した文明の存続期間を表している。Drake には、方程式は有用な推測ではなく、調査研究の優先性を表していること、が明らかであった。方程式は、第一に、生命、知性、技術的知性が有用な区別に基づく有意的カテゴリーである、第二に、知性は

生命のコンテキストにおいてのみ生れる、第三に、唯一の存続期間はこの移行が一方方向にだけ生じる、と仮定する (Mix, 70)。

さらに、Mix, L. によれば、近年、居住可能な惑星の度数について多く学ぶが、生命の度数についてはそれほど多くは学ばない。生命の発見可能性に関する研究は、後者の問題、あるいは、それらがどの程度に最終的な推計に影響するか、を取り扱うことなく、前者に注意している。Sandberg, A. ほか (Sandberg et al.) は、これら 7 つのパラメーターに共通する不確実性に注目する。f_l の不確実性は他のパラメーターに影響を及ぼす。推測における可能性の配分を鑑みるならば、エイリアン文明を発見できないことは驚くことではない。生命の存在しない宇宙というフェルミパラドックスは入手可能なデータと一致する。しかしながら、これは生命が稀であるということの意味するのではなく、推測を可能にする十分なデータが存在しないということの意味するだけである (Mix, 70; Roush, 47-54, 115-159)。

1 つの銀河には 1,000 億以上の恒星があり、その大部分には惑星があり、1 つの宇宙には 1,000 億の銀河があるがために、1 つの淡いブルードット (地球) にだけ生命が発生したとは考えにくい。しかしながら、地球の外、とりわけ私たちの太陽の周りを回る惑星系の外で生命を発見するという挑戦は、現在の私たちの技術発展レベルでは非常に厳しい。にもかかわらず、近い恒星の周りに生存可能な世界を発見し、生命と先進技術が存在することを証明するための努力が続けられている。私たちは様々な科学的な道具を利用して、「私たちは孤独なのか」という昔からの疑問に取り組むことができる (Pilcher *et al.*, 164)。

Race, M. S. によれば、地球外生命体の探索において、宇宙生物学は、生存可能な場所を特定し研究し、環境条件を理解し、生命と関係するであろうプロセスを分析し、地球外生命の証拠を探すために、多様な方法を用いる。現在、地球外生命体の探索は、以下の 3 つのカテゴリーに分類することができる。第一のカテゴリーは、地球外知性の探索で、遠隔の技術の発達した地球外文明からの信号あるいはメッセージが探索される。第二のカテゴリーは、地球外生命体が生存できる太陽系外の惑星の発見と調査である。第三のカテゴリーは、太陽系内の探索と任務に関係する「地球外生物学」(exobiology) である。それぞれのカテゴリーは、多様な科学的道具と方法を用いて、多様

な場所を探索し、多様な証拠とデータを収集する。こうして、それぞれのカテゴリーは、仮説的地球外生命体の性格と発見の成功の科学的意味の相違を反映している（Race, 205-212）。

要するに、一方において、フェルミ問題に直面し、地球外生命体に関する多数の研究は様々な説明を提案しなければならない。したがって、現段階では、地球外生命体が存在する、存在しない、いずれの結論を導き出すこともできない。他方において、ドレイク方程式の大部分のパラメーターの有用性についてかなりの異論が存在するが、パラメーターのより良い見積もり方法について追求され続けている。これはドレイク方程式の重要性と存在意義を表している。

IV 地球外スーパーインテリジェンス（超知性）・高度知的文明によるエネルギーと資源のコントロール：ダイソン球とカルダシェフスケール

1. 地球外高度知的文明の建造物と文明発達のスケール：タイプ I・II・III

1) ダイソン球とダイソン群

英国系米国人の物理学者で数学者の Freeman J. Dyson は、1960 年に、恒星の周囲の軌道を描いて回る巨大な人工建造物で、光を捕捉し、有用なエネルギーに変える能力を有するダイソン球（Dyson Sphere）を提案した（Dyson）。もともと、彼は、恒星を完全に包み、全ての光を吸収する巨大な球体のシェルを構想した。このアイデアはコミュニティの中で広まり、SF の領域では熱狂的に描写された。しかしながら、そのようなアイデアは、軌道構造物理学（physics of orbital mechanics）と惑星サイズの物質質量により、その実現を排除するよう要求された（Wee）。

ダイソン群（Dyson Swarm）はダイソン球の最も現実的で実現可能な変異体である。そのような装置は、恒星の周軌道にある人工衛星の集合体として描出される。この軌道配置の基本的な動力学は、地球と他の惑星が太陽を周回する仕方と類似するが、ずっと近い距離でより多数の構成分子を伴う。それは、蜜蜂が群れを成して巣を守るイメージを想起する。これらの個々の人工衛星は、太陽の放射エネルギーを集めるソーラーパネルを備え、このエ

エネルギーをワイヤレスで惑星に送信し、地上で受信し使用される。この装置において、人工衛星が通過する毎に太陽光が遮られ、光の変動が生じる。このような考え方に従うならば、初期のダイソン仮説の何らかの変形となりうる、何らかの高度文明によって過去に建設された未知の巨大建築物の可能性に関する新たな研究が導かれる (Wee; Cooper, 179-228 (203-259); Baum, 116; Beech, 52-53; Loeb, 144-145; 長沼)。

2) カルダシェフスケール

太陽エネルギーを家庭や産業に供給するエネルギーに変換する考えは決して新しくはないが、高度文明が恒星エネルギーを使用する可能性の程度は、天文学者や地球外生命体探査者の間で長期にわたる思考実験の対象である。ロシアの天体物理学者である Nikolai S. Kardashev は、1964 年に、文明の技術レベルは必然的にそのエネルギー消費と結びついており、文明はエネルギーの生産量によって分類される、とするカルダシェフスケール (Kardashev Scale) を提案した (Kardashev, 1964; Kardashev, 1985)。彼の測量基準によれば、タイプ I の文明は自身の惑星で入手できる資源をすべて完全に使用することができ、タイプ III の文明は帰属する銀河系のエネルギーを利用することができる。これらの中間のタイプ II の文明は、何らかの形態のダイソン球により、帰属する恒星から発生する全てのエネルギーを利用することができる (Wee)。

最も緩やかな基準によるならば、人類はかろうじてタイプ I の文明に分類することができる。私たちの太陽の活動は、今後 500 万年間は現在の活動が維持されるであろうと見積もられているがために、有限で急速に消滅する地球資源と比べ、太陽は無限にエネルギーを供給すると考えられている。現在、太陽放射の大部分は利用されることなく宇宙に放出されており、太陽の全エネルギー放出量の 10 億分の 1 未満が地表に到達しているだけである。もし、そのエネルギーの 100 万分の 1 でも利用することができるならば、現在世界で 1 年間に使用されている全エネルギー消費量を賄うことができる (Wee; Beech, 14-16; Roush, 54-56, 177-178; Pierce, 173-188)。

2. カルダシェフスケール批判

1) エネルギー消費からエネルギー変換へ

Frank, A. は、「エネルギー消費」から「エネルギー変換」に文明の基準を変えなければならない、とカルダシェフスケールを批判する。Kardashev, N. S. は将来のテクノ・ユートピアの時代に育った。テクノロジーは人類を救済する洗練された輝かしい機械としてイメージされ、その成長とパワーは無制限に見えた。それゆえに、カルダシェフスケールはエネルギーにだけ焦点を当てた。文明は全銀河系が発掘される資源になるまで常に拡大する高さまでエネルギー利用の階段を上ることが期待された。しかしながら、Love-lock、Margulis 他の研究成果から、惑星や生命に関する新しい科学的理解が生じた。生命が存在しない場合でも、惑星は複雑なシステムであり、活発な生態系が存在する場合には、それは複雑な全体の一部となる。システムの生命体が存在する部分と存在しない部分は時代とともに共進化する。このようにして、惑星を構成する複数のシステムはそれ自身の内的動力学を有する。それらの動力学は、文明の軌跡を精密に記す時に、十分に捉えられる (Frank, 212-213 (218-220))。

Frank, A. によれば、エネルギー消費ばかりでなくエネルギー変換も考慮し、惑星システムを流通するエネルギーに作用する物理法則に注目しなければならない。エネルギー変換の限界を認識することは人新世の基本的なレッスンであり、フィードバックを見積もらずに文明を築くエネルギーを利用することはできない。生態系と文明は惑星システムにおいて共進化する部分として理解し、エネルギー集約的な文明の長期にわたる持続的な発展は、生命とその帰属惑星の継続的な相互作用に基づいて理解されなければならない。持続可能な文明は、それらの共働惑星システムとの長期的な協力関係にあらねばならない (Frank, 213-214 (220-221))。

2) 複雑系としてのハイブリッド惑星

さらに、Frank, A. によれば、数十億年にわたる惑星の発展は、星の光を取り込み、そのエネルギーを何物かに変換するプロセスに依存する。複雑性、活動、エネルギーの流れの関係は、持続的な文明がどのようにあられるかを理解させる。持続可能な文明の惑星は、太陽光を取り入れ、変換することに熟達しているであろう。その文明は、より多くのエネルギーを取り入れるばかりでなく、惑星を危険な場所にすることなく、このエネルギーを利用する方法を理解している。その文明は、自身と生態系全体の繁栄と生産性を高

める残余の自然システムと関わっている (Frank, 214, 219 (221, 226))。

私たちの活動と選択は生態系と他の惑星システムの状態を著しく変えているが、私たちは長期のプランを持たずにこれらの変化を生み出している。私たちは惑星を何か新しい方向に発展させているが、その新しい状態が長期的に見て私たちを内包するものであるかどうかは言えない。これまでとは異なる方向に発展しつつあるが、私たちの文明のプロジェクトにとって危険な方法で進んでいる (Frank, 220 (227); Takemura, 2021a; Takemura, 2021b; 竹村, 2021c; Takemura, 2021d)。

要するに、私たちは、地球外文明だけでなく、惑星、天体、銀河系を多数の複雑な要因によって構成される複雑系として理解しなければならない。これらの要因の関係を明らかにし、それらのダイナミックな事実を内包する地球外文明の新しくリアルな分類をしなければならない。

3. カルダシェフスケールの再考とさらなる発展：タイプⅣ

1) カルダシェフスケール評価

Ćirković, M. M. は、約半世紀前に Kardashev によって提案された地球外文明の分類の歴史と状況を評価する。カルダシェフ分類 (カルダシェフスケール) は、しばしば簡略化しすぎるとされ、多様な改良、洗練、代替案が提案されるが、今でも地球外文明探査問題についての理論研究の重要な道具の一つである。過去 50 年以上にわたって、分類を修正し、改善するいくつかの試みがなされた。近年における地球外文明探査に関する理論的・観測的研究は、カルダシェフ分類に内包される発見可能性が新たな重要性和新鮮さを得たことを説得的に示した。ダイソンの地球外文明探査のようないくつかの新しい動向と概念枠組みはこれらの発展と著しく一致する。分類の明確な簡略化には当惑されるが、Kardashev の研究は、多数のいまだ研究が不十分な方法論的・認識論的細分化を提示し、地球外文明探査の創始者 (founding father) の価値ある遺産である (Ćirković, 2015; Wright *et al.*)。

また、Ćirković, M. M. によれば、カルダシェフ分類の再考はこの分野において有益でなければならない。本当に重要な問題は、タイプⅡ.x 文明が銀河系内及び銀河系間において現実的距離から捕捉できるかどうかである。創造的かつ想像的で強力な地球外文明探査の挑戦は、少なくとも来る数十年は

未解決のままであろう。何よりも、それは人類の未来の展望と陥穽を理解し、人類の長期にわたる存続と繁栄に必要な新たな生態学的・倫理的コンセンサスの確立に貢献するのに役立つであろう (Ćirković, 2015, 13; Wright *et al.*; Vidal; Gray, 2020; Smith *et al.*; Lupisella, 2020; Inglezakis; Tabas; Anker; Vakoch, 2011; Takemura, 2022b; Takemura, 2019; 竹村, 2022a; Takemura, 2021a; 竹村, 2021c; Takemura, forthcoming)。

2) さらなる発展のための質的分類

Ivanov, V. D., Beamin, J. C., Caceres, C., Minniti, D. は、地球外文明が環境を変え、それと融和する能力に基づく分類を提案する。クラス0は環境をあるがままに使用し、クラス1はそのニーズに適合するように環境を変え、クラス2は環境に適合するように自身を変え、クラス3は完全に環境と融和する。古典的なカルダシェフスケールと結び付き、彼らの計画は地球外文明の資産を解釈するための二次元スキームを形成した (Ivanov *et al.*)。

彼らの提案の最も明らかな利点は、地球外文明に関する新しい思考方法である。入手可能なエネルギーがどのように使用されているか、宇宙の物質とどのような相互作用をするか、という問題である。第一に、地球外文明の足跡とその発見可能性は、いずれも主としてエネルギーに支配されているが、入手可能なエネルギーによってスケールアップするわけではない。第二に、入手可能なエネルギー量は、物質との相互作用をより洗練し、より環境と調和することを必ずしも意味しない。さらに、より多くのエネルギーの入手可能性が環境を変える能力を増強するだけであることを期待できるかどうかは不確実である。換言するならば、私たちは、ダイソン球を建設することが、より強力な採掘装置、より重量のあるロケット、あるいは、特別な技術を所有する問題であるかどうか、について理解する能力を欠いている。複雑性はエネルギーの入手可能性と直接に関係しない (Ivanov *et al.*, 4-5)。

このような新しい枠組みは、Kardashev が彼の分類を提案する前に Dyson (1960) によって提案されたように、進歩はエネルギー消費の階段をクラス1から3に上昇するのと等しい、という仮定を疑問に付する。確かに、地球外文明は、その環境の純粋に技術的な変容から、化学的、原子力的レベルでのより複雑な操作に発展させ、その操作によって、単純なレベルの相互作用ではできなかったより重要かつ大規模な影響を及ぼすことができる。し

かしながら、これは必ずしもエネルギー消費を増加させるだけで成し遂げられるものではない (Ivanov *et al.*, 5)。

要約するならば、新しい思考枠組みは、エネルギーの入手可能性が地球外文明の進歩の唯一の基準ではなく、エネルギーがどれほど良く利用されているかと相関関係がないかもしれない、ということを明らかにした。エネルギー消費の増加のない進歩の可能性は発見可能性の低さを意味し、天の川銀河におけるカルダシェフのタイプⅢの地球外文明の存在も例外ではない。この推論はフェルミパラドックスを弱体化し、進歩したエネルギーに貪欲ではなく、発見可能性の低い地球外文明が存在することを可能にする。地球外文明の環境との統合は、ある物質の存在やある物質過程が起きたことを示す特徴的な技術的痕跡であるテクノシグネチャー (technosignatures) を自然現象から区別することを不可能にするであろう。したがって、進歩した地球外高度知的文明を発見するための地球外生命体探査について最も見込みのあるものは、とりわけ彼らが私たちのような若い文明のために発信した電波信号 (beacon) を探すことである (Ivanov *et al.*; Vakoch *et al.*, 2011; Vakoch, 2011; Montebugnoli *et al.*; Cooper, 147-178, 261-318 (165-201, 295-362))。

3) 遠い未来とタイプⅣ文明

Galánta, Z. は次のようにカルダシェフスケールを批判する。カルダシェフの類型は、高度文明をそのエネルギー消費でカテゴリー化できるとの信念に基づいている。一方において、カルダシェフスケールのⅡあるいはⅢレベルに到達することなく、帰属する太陽系や銀河系を征服する進歩的文明を想像することができる。他方において、銀河系全体のエネルギーを利用することができる文明を創り上げることは、新しい物理法則を発見しない限り不可能である。したがって、進歩的な文明の特別な程度に基づいて新しい類型を生み出すことが合理的である (Galántai, 2005)。

さらに、Galántai, Z. はタイプⅣ文明に関する重要な問題を提起する。Kardashev やその追隨者は、理論的には可能であるが、全宇宙のエネルギーを管理することができる人々のための第 4 のカテゴリーを導入しなかった。彼らは、最大限可能なスケールにおいて環境をコントロールする文明を想像しなかった。タイプⅣ文明が物質を放射エネルギーに転換するあらゆる力の源を使用することができる宇宙を想像することができるにもかかわらず、高

度文明が必要な全てのタスクを調整することを考えることは困難であり、現在まで、全てを内包する世界の可能性を主張することは誰もできなかった。したがって、Kardashev がタイプⅣ文明の創造の機会を排除したのは正しかった、と言えるであろう (Galántai, 2004, 85, 87)。

タイプⅣ文明の仮定的出現は、自然科学の性質、とりわけ宇宙論の性質を変容させる結果となり得る。知的存在が宇宙の運命に影響を及ぼすことができるならば、この新しいパラメーターは考慮に入れなければならない。高度な技術を有する文明の拡大はその環境の変容を導く。Kardashev は、地球外文明探査の可能なターゲットを確認するために分類を創出したが、宇宙的視点からするならば、私たちがタイプⅠあるいはタイプⅢのいずれの文明段階にあるかは重要ではない。重要なのは、私たちが宇宙全体に影響を及ぼす力を持っているか否かである。私たちの窮極的な目的は、タイプⅣの文明になることである (Galántai, 2004, 87-88; Bostrom, 120-126 (212-222); Kaku, 2019, 247-307 (332-413))。

Kardashev, N. S. は、利用可能なエネルギー源を最も重要かつ特徴的であると考え、それに基づいて文明を分類した。しかしながら、Dyson によれば、開かれた宇宙は永久的な静止状態に進む必要がなく、生命とコミュニケーションは有限なエネルギー貯蔵を使用して永続することができる。すなわち、長期的に見て、入手可能なパワーだけが知的生命体の生存に不可欠な役割を果たすのではない。短期あるいは長期のプロジェクトを運営管理する能力に基づいて、文明を分類しようとするのであろうか。それは時間を要するものであり、私たち人類の未来を長期スケールで解釈することについて、考え始めなければならない (Galántai, 2004, 88-89)。

さらに、Sagan, C. は、文明が入手可能な情報という付加的な分類基準を提案した (Sagan)。Ćirković, M. M. は、超銀河集団の力を利用することができる文明をタイプⅣに分類すべきである、とした (Ćirković, 2004)。Kaku, M. は、タイプⅣ文明はダークエネルギーのような銀河系外エネルギーを利用することができる、とした (Kaku, 2005)。Galántai, Z. は、タイプⅣレベルは可視宇宙のエネルギーを利用するとした (Galántai, 2004)。これらを踏まえ、Lupisella, M. は、これまで提案されたエネルギースケールと異なる独自のスケールを提案する (タイプⅠ：惑星的影響、タイプⅡ：宇宙物

理学的影響、タイプⅢ：宇宙論的影響、タイプⅣ：存在論的影響、タイプⅤ：根本原理帰結)。そのスケールは、ある文化がその環境と宇宙に及ぼす影響の種類を強調する (Lupisella, 2020, 128-132)。

要するに、カルダシェフスケールが提案されてから半世紀以上が経過するが、理論的精緻化のために影響力のある議論が継続している。カルダシェフスケールは、地球外文明の存在、その複雑システムの実体、そのエネルギーと資源のコントロール様式の探査にとって、重要であり続けるであろう。

V 結論

地球外生命は、地球に起源を有しない生命と定義される。過去において、そのような生命が存在したか否かについて、現在のところ明確な証拠がなく、わからない。地球外生命の存在に関するより直接的でない議論は、観察可能な宇宙のサイズの大きさに依存している。Carl Sagan や Stephan Hawking によって承認された、この議論によれば、生命が地球外のどこにも存在しないとは考えられない (King, 1)。

これに対して、高度な技術を有する文明が永久に存在することを期待すべきではない、とする多数の多様な理由が存在する。地球外文明が私たちの銀河系で形成されたと仮定するならば、現在存在する数はそれらの多様な存続期間に左右される。概して、存続期間が短いならば、高度な技術を持つ文明は、他の文明に遭遇する前に、あるいは、カルダシェフスケールのタイプ I レベルを超えて進歩する前に、めらめらと燃えて消失するであろう。文明が待ち受ける多数の予期せぬ危険を回避し、彼らの太陽の安定期と同じ期間存続し続けられるならば、発見されるのを待っているエイリアンが銀河系全体に散在するであろう (Pierce, 186; NASA History Office *et al.*; Ashkenazi; Boss; Bruno)。

また、ドレイク方程式を使用するために、平均的な高度技術文明の存続期間を見積ることは、容易なことではない。私たちができることは、多数の運命のうちのいずれが私たちの地球支配を最も制限する可能性があるのかを推定し、それらの運命が致命的である程度を評価し、それらが発生する時間枠

組みを推測することだけである。エイリアンの文明に関して、彼らがどのような危険に直面しているかを正確に把握することはできないが、私たちに類似する太陽の周り、類似する惑星上で、類似する原子と分子を使用して類似のプロセスを経て発展したならば、彼らは私たちと同様の多数の制限に従わなければならないであろう（Pierce, 187; Fuller）。

理論物理学者の Stephan Hawking は、人類は宇宙人とコンタクトすべきではない、なぜなら宇宙人が地球の資源を略奪するかもしれない、と警告した。彼は、「宇宙人が私たちに訪問するならば、コロンブスがアメリカ大陸に上陸し、ネイティブアメリカンに良い結果をもたらさなかった以上に、悪い結果をもたらすであろう」と語った（King, 15; Vakoch, 2014b）。

しかしながら、地球外スーパーインテリジェンス（超知性）・高度知的文明に関する諸概念や諸調査研究、彼らの複雑システムの実体、エネルギーと資源のコントロール様式を分析・検討することにより、持続可能なエネルギーと資源をコントロールする方法について示唆を得ることができるならば、私たちはより賢明になり、今後数百万年にわたって生き続けることができるかもしれない。知的好奇心は文明発展のエネルギーである。

【注】

- 1) 本稿は、JSPS 科研費基盤研究 (C) 「複雑系の犯罪学に関する研究」(課題番号: 13620074)、JSPS 科研費基盤研究 (C) 「地球環境危機における複雑系グリーン犯罪学に関する調査研究」(課題番号: 20530060)、JSPS 科研費基盤研究 (C) 「科学技術の進歩と社会の発展に伴う環境・エコ犯罪とその対策に関する調査研究」(課題番号 15K03181)、及び、JSPS 科研費基盤研究 (C) 「南北統合グローバル・グリーン犯罪学と国際環境裁判所の創設に関する調査研究」(課題番号 JP19K01353) の研究成果の一部である。
- 2) 本稿は、Takemura, N. (2022), Extraterrestrial Super Intelligence and Energy-and-Resource Control in the Star, Galaxy, and Universe: Prospect of Ultimate Astro-Green Criminology, *Toin University of Yokohama Research Bulletin*, 47: 27-37. を基本とし、加筆訂正したものである。

【参考文献】

阿部豊 (2015) 『生命の星の条件を探る』(文芸春秋、2015年)。

- Al-Khalili, J. (2018). *Aliens: The World's Leading Scientists on the Search for Extraterrestrial Life*. New York: Picador. (斉藤隆史訳『エイリアン：科学者たちが語る地球外生命』紀伊國屋書店、2019年)
- Anker, P. (2005). The Ecological Colonization of Space. *Environmental History*, 10: 239–268.
- 荒船良孝 (2021) 『生き物がいるかもしれない星の図鑑：太陽系や系外惑星、億兆の中に生命はあるか』(SBクリエイティブ、2021年)。
- Armstrong, S., and Sandberg, A. (2013). Eternity in six hours: Intergalactic spreading of intelligent life and sharpening the Fermi paradox. *Acta Astronautica*, 89: 1–13.
- Ashkenazi, M. (2017). *What We know about Extraterrestrial Intelligence: Foundations of Xenology*. Cham: Springer International Publishing.
- Baker, D. (2020). Complexity in the Future: Far-from-Equilibrium Systems and Strategic Foresight. In: Korotayev, A. V., and LePoire, D. J. (eds.) (2020). *The 21st Century Singularity and Global Futures*. Springer. 397–417.
- Battaglia, D. (ed.) (2005). *E. T. Culture: Anthropology in Outerspaces*. Durham and London: Duke University Press.
- Baum, S. D. (2016). The Ethics of Outer Space: A Consequentialist Perspective. In: Schwartz, J. S. J., and Milligan, T. (eds.) (2016). *The Ethics of Space Exploitation*. Springer International Publishing AG Switzerland.
- Beech, M. (2008). *Rejuvenating the Sun and Avoiding Other Global Catastrophes*. New York: Springer Science+Business Media, LLC.
- Besteiro, A. (2019). The Implications of Non-Faster-Than-Light Type-3 Kardashev Civilizations. *Journal of the British Interplanetary Society (JBIS), General interstellar issue*, 72(6): 198–201.
- Billings, L. (2020). Earth, Life, Space: The Social Construction of the Biosphere and the Expansion of the Concept into Outer Space. In: Smith, K. C., and Mariscal, C. (eds.) (2020). *Social and Conceptual Issues in Astrobiology*. New York: Oxford University Press. 239–262.
- Boss, A. (2019). *Universal Life: An Inside Look Behind the Race to Discover Life Beyond Earth*. New York: Oxford University Press.
- Bostrom, N. (2016). *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*. Oxford: Oxford University Press. (倉骨彰訳『スーパースーパーインテリジェンス：超絶 AI と人類の命運』日本経済新聞出版社、2017年)
- Brandt, P. C., McNutti, R., Pauli, M.V., Lissei, C. M., Mandt, K., Vernon, S. R., Provornikova, E., Runyon, K., Rymer, A., Hallinan, G., Mewaldt, R., Alkalai, L., Arora, N., Liewer, P., Turyshev, S., Desai, M., Opher, M., Stone, E., Zank, G., and

- Friedman, L. (2019). Humanity's First Explicit Step in Reaching Another Star: The Interstellar Probe Mission. *Journal of the British Interplanetary Society (JBIS), General interstellar issue*, 72(6): 202-212.
- Bruno, G. (1584). *De l'Infinito, Universo e Mondi*. Stampato in Venezia, Anno MDLXXXIV. In: Dialoghi filosofici italiani, a cura di Michele Ciliberto, Moradadori, Milano, 2000. Edizione Acrobat, a cura di Patrizio Sanasi. (Schultz, C. (übersetzt.). *Über das Unendliche, das Universum und die Welten*. Ditzingen: Reclam. 1994; *L'Infiniti, L'Univers et Les Mondes*. Berg International. 2013)
- Chick, G. (2014). Biocultural Prerequisites for the Development of Interstellar Communication. In: Vakoch, D. A. (ed.) (2014). *Archaeology, Anthropology, and Interstellar Communication*. Washington D. C.: National Aeronautics and Space Administration. 203-226.
- Ćirković, M. M. (2015). Kardashev's Classification at 50+: A Fine Vehicle with Room for Improvement. *Serbian Astronomical Journal*, 191: 1-15.
- Ćirković, M. M. (2018). *The Great Silence: The Science and Philosophy of Fermi's Paradox*. Oxford: Oxford University Press.
- Cooper, K. (2019). *The Contact Paradox: Challenging Our Assumptions in the Search for Extraterrestrial Intelligence*. London, Oxford, New York, New Delhi, Sydney: Bloomsbury Sigma. (齊藤隆央訳『彼らはどこにいるのか：地球外知的生命をめぐる最新科学』河出書房新社、2021年)
- Dator, J. A. (2012). *Social Foundations of Human Space Exploration*. New York: Springer Science+Business Media.
- Davenport, C. (2018). *The Space Barons: Elon Musk, Jeff Bezos, and the Quest to Colonize the Cosmos*. New York: Public Affairs, U.S. (黒輪篤嗣訳『宇宙の覇者：ベゾス vs マスク』新潮社、2018年)
- Denning, K. (2011). "L" on Earth. In: Vakoch, D. A., and Harrison, A. A. (eds.) (2011). *Civilizations Beyond Earth: Extraterrestrial Life and Society*. New York and Oxford: Berghahn Books. 74-83.
- Dick, S. L. (2003). Cultural evolution, the postbiological universe and SETI. *International Journal of Astrobiology*, 2 (1): 65-74.
- Dick, S. J. (2013). The Societal Impact of Extraterrestrial Life: The Relevance of History and the Social Sciences. In: Vakoch, D. A. (ed.) (2013). *Astrobiology, History, and Society: Life Beyond Earth and the Impact of Discovery*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 227-257.
- Dyson, F. J. (1960). Search for Artificial Stellar Sources of Infrared Radiation. *Science*, 131: 1667.
- フォルガー (Folger), T. (2014) 「ETの信号をつかんだら」日経サイエンス編集部

- 『系外惑星と銀河』別冊日経サイエンス no.200 (日経サイエンス社、2014 年) 52-59 頁。
- Frank, A. (2018). *Light of the Stars: Alien Worlds and the Fate of the Earth*. New York and London: W. W. Norton and Company. (高橋洋訳『地球外生命と人類の未来: 人新世と宇宙生物学』青土社、2019 年)
- Fuller, R. B. (1969). *Operating Manual for Spaceship Earth*. Zürich: Lars Müller Publishers. (芹沢高志訳『宇宙船地球号操縦マニュアル』筑摩書房、2000 年)
- Galántai, Z. (2004). Long Futures and Type IV Civilizations. *Periodica Polytechnica, Social and Management Science*, 12(1): 83-89.
- Galántai, Z. (2005). After Kardashev: Farewell to Super Civilizations. *Contact in Context: A Journal of Research on Life in the Universe*, 2(2): 1-4.
- Gray, R. H. (2015). The Fermi Paradox is Neither Fermi's Nor a Paradox. *Astrobiology*, 15(3): 195-199.
- Gray, R. H. (2020). The Extended Kardashev Scale. *The Astronomical Journal*, 159: 228-232.
- Hart, M. H. (1975). An Explanation for the Absence of Extraterrestrials on Earth. *The Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 16: 128-135.
- Hawking, S. (2018). Brief Answers to the Big Questions: the final book from Stephen Hawking. London: John Murray Publishers Ltd. (青木薫訳『ビッグ・クエスチョン: <人類の難問>に答えよう』NHK 出版、2019 年)
- Hawksett, D. (2017). *Extraterrestrials: Can you find them in the Universe?* New York: PowerKids Press.
- 稲葉振一郎 (2016) 『宇宙倫理学入門』(ナカニシヤ出版、2016 年)。
- Inglezakis, V. J. (2016). Extraterrestrial Environment. In: PoulouPoulos, S. G., and Inglezakis, V. J. (eds.) (2016). *Environment and Development: Basic Principles, Human Activities, and Environmental Implications*. Elsevier Science. 453-498.
- 伊勢田哲治・神崎宣次・呉羽真編 (2018) 『宇宙倫理学』(昭和堂、2018 年)。
- Ivanov, V. D., Beamín, J. C., Cáceres, C., and Minniti, D. (2020). A qualitative classification of extraterrestrial civilizations. *Astronomy and Astrophysics*, 639, A94.
- JAXA 宇宙大航海時代検討委員会編 (2022) 『宇宙大航海時代: 「発見の時代」に探る、宇宙進出への羅針盤』(誠文堂新光社、2022 年)。
- Kaku, M. (2005). *Parallel worlds: The science of alternative universes and our future in the cosmos*. New York: Doubleday. (齊藤隆史訳『パラレルワールド: 11 次元の宇宙から超空間へ』NHK 出版、2006 年)
- Kaku, M. (2019). *The Future of Humanity: Terraforming Mars, Interstellar Travel, Immortality and Our Destiny Beyond Earth*. Penguin Books. (齊藤隆史訳『人類、宇宙に住む: 実現への3つのステップ』NHK 出版、2019 年)

- Kardashev, N. S. (1964). Transmission of Information by Extraterrestrial Civilizations. *Soviet Astronomy-A.J.*, 8(2): 217-221.
- Kardashev, N. S. (1985). On the Inevitability and the Possible Structures of Supercivilizations. In: Papagiannis, M. D. (ed.) (1985). *The Search for Extraterrestrial Life: Recent Developments*. IAU. 497-504.
- 河原創 (2018) 『系外惑星探査：地球外生命を目指して』(東京大学出版会、2018年)。
- 木村直之編 (2021) 『銀河のすべて (改訂第3版)』(Newton別冊)(ニュートンプレス、2021年)。
- King, C. (ed.) (2011). *Life Out There: A Guide to Extraterrestrial Life, Including Cosmic Pluralism, the Drake Equation, Planetary Habitability, and More*. Webster's Digital Services.
- 北原逸美 (2022) 「人類はふたたび月へ～アルテミス計画」Newton 42 巻9号 (2022年) 44-55頁。
- 小林憲正 (2021) 『地球外生命：アストロバイオロジーで探る生命の起源と未来』(中央公論新社、2021年)。
- Lampkin, J. A. (2020). Mapping the terrain of an astro-green criminology: a case for extending the green criminological lens outside of planet Earth. *Astropolitics*, 18 (3): 235-259.
- Launius, R. D. (2018). *The Smithsonian History of Space Exploration: From the Ancient World to the Extraterrestrial Future*. Washington D. C.: Smithsonian Books. (柴田浩一訳『ビジュアル大図鑑 宇宙探査の歴史』東京堂出版、2020年)
- Loeb, A. (2021). *extraterrestrial: The First Sign of Intelligent Life Beyond Earth*. London: John Murray.
- Loh-Hagan, V. (2020). *Extraterrestrial Life: Out of This World*. Ahn Arbor: Cherry Lake Publishing.
- Lupisella, M. (2009). The search for extraterrestrial life: epistemology, ethics, and worldviews. In: Bertka, C. M. (ed.) (2009). *Exploring the Origin, Extent, and Future of Life: Philosophical, Ethical, and Theological Perspectives*. New York: Cambridge University Press. 186-204.
- Lupisella, M. (2020). *Cosmological Theories of Value: Science, Philosophy, and Meaning in Cosmic Evolution*. Cham: Springer Nature Switzerland.
- Matloff, G. L. (2019). The Motivation and Frequency of Interstellar Migrations: A Possible Answer to Fermi's Paradox. *Journal of the British Interplanetary Society (JBIS), General interstellar issue*, 72(6): 181-185.
- Michaud, M. (2007). *Contact with Alien Civilizations: Our Hopes and Fears about Encountering Extraterrestrials*. New York: Copernicus Books.
- Mix, L. (2020). Three Lives and Astrobiology. In: Smith, K. C., and Mariscal, C. (eds.)

- (2020). *Social and Conceptual Issues in Astrobiology*. New York: Oxford University Press. 57–78.
- Molina, J. A. M. (2019). Searching for a standard Drake equation. *Journal of the Interplanetary Society (JBIS), General interstellar issue*, 72(8): 1–15.
- Montebugnoli, S., Melis, A., and Antonietti, N. (eds.) (2021). *The Search for Extra Terrestrial Intelligence: Proceedings of the 2nd SETI-INAF Meeting 2019*. Cham: Springer Nature Switzerland AG.
- 長沼毅 (2017) 「宇宙生命、宇宙に出る地球人、地球にくる宇宙人のリアリティ」現代思想 45 卷 14 号 (2017 年) 87–107 頁。
- 長沼毅・井田茂 (2014) 『地球外生命：われわれは孤独か』(岩波書店、2014 年)。
- NASA History Office, and Vakoch, D. A. (eds.) (2014). *Archaeology, Anthropology and Interstellar Communication*. www.Militarybookshop Co. UK.
- 日経サイエンス編集部編 (2014) 『系外惑星と銀河』別冊日経サイエンス no.200 (日経サイエンス社、2014 年)。
- 日経サイエンス編集部編 (2017) 『地球外生命探査』別冊日経サイエンス no.223 (日経サイエンス社、2017 年)。
- 日経サイエンス編集部 (2023) 「特集：宇宙新時代～未知の世界が見えてくる～」日経サイエンス 53 卷 2 号 (2023 年) 30–75 頁。
- 岡田浩樹・木村大治・大村敬一編 (2014) 『宇宙人類学の挑戦：人類の未来を問う』(昭和堂、2014 年)。
- 大貫美鈴 (2018) 『宇宙ビジネスの衝撃：21 世紀の黄金をめぐる新時代のゴールドラッシュ』(ダイヤモンド社、2018 年)。
- Petrikowski, N. P. (2016). *A New Frontier: The Past, Present, and Future of the Search for Extraterrestrial Life*. New York: Rosen Publishing.
- Pierce, J. N. (2008). *Life in the Universe: The Abundance of Extraterrestrial Civilizations*. Boca Raton: Brown Walker Press.
- Pilcher, C. B., and Lissauer, J. J. (2009). The quest for habitable worlds and life beyond the solar system. In: Bertka, C. M. (ed.) (2009). *Exploring the Origin, Extent, and Future of Life: Philosophical, Ethical, and Theological Perspectives*. New York: Cambridge University Press. 143–166.
- Race, M. S. (2009). The implications of discovering extraterrestrial life: different searches, different issues. In: Bertka, C. M. (ed.) (2009). *Exploring the Origin, Extent, and Future of Life: Philosophical, Ethical, and Theological Perspectives*. New York: Cambridge University Press. 205–219.
- Roush, W. (2020). *Extraterrestrials*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Sagan, C. (1973). *Cosmic connection: An extraterrestrial perspective*. New York: Doubleday and Company.

- Sandberg, A., Drexler, E., and Ord, T. (2018). Dissolving the Fermi Paradox. arXiv:1806.02404.
- 佐々木貴教 (2017) 「系外惑星に人類の未来を問う：ゴーギャンの問いに対する惑星科学的アプローチ」現代思想 45 卷 14 号 (2017 年) 140-149 頁。
- Schwartz, J. S. J., and Milligan, T. (eds.) (2016). *The Ethics of Space Exploration*. Springer International Publishing AG Switzerland.
- Shostak, S. (2011a). Are We Alone? Estimating the Prevalence of Extraterrestrial Intelligence. In: Vakoch, D. A., and Harrison, A. A. (eds.) (2011). *Civilizations Beyond Earth: Extraterrestrial Life and Society*. New York and Oxford: Berghahn Books. 31-42.
- Shostak, S. (2011b). *L: How Long Do They Last?* In: Shuch, H. P. (ed.) (2011). *Searching for Extraterrestrial Intelligence: SETI Past, Present, and Future*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 451-466.
- Shuch, H. P. (ed.) (2011). *Searching for Extraterrestrial Intelligence: SETI Past, Present, and Future*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Smith, K. C., and Mariscal, C. (eds.) (2020). *Social and Conceptual Issues in Astrobiology*. New York: Oxford University Press.
- Tabas, B. (2021). Outer Space, Expansive Sustainable Development, and the Future of the Environmental Humanities. *Academic Letters*, Article 120. <https://doi.org/10.20935/AL120>.
- Takemura, N. (2005). *Prospects for the 21st Century Criminology: Crime and Justice in Contemporary Risk Society: Approach from Chaos/Complexity Criminology*. The Eleventh United Nations Congress on Crime Prevention and Criminal Justice, Bangkok, Thailand, 18-25 April 2005. A/CONF.203/IE/9.
- Takemura, N. (2007a). Beyond Criminology: Emerging New Paradigm of Complexity Criminology: Chaos, Contingency and Criticality. *JCCD*, 100: 233-220.
- Takemura, N. (2007b). 'Criticality of Environmental Crises' and Prospect of 'Complexity Green Criminology'. *Toin University of Yokohama Research Bulletin*, 17: 5-11.
- Takemura, N. (2010a). The criticality of global environmental crime and the response of chaos criminology. In: White, R. (ed.) (2010). *Global Environmental Harm: Criminological Perspective*. Devon: Willan. 210-227.
- Takemura, N. (2010b). *Transnational Crime/Harm/Injustice and Struggle for Social Justice: Development of Chaos/Complexity Criminology*. The Twelfth United Nations Congress on Crime Prevention and Criminal Justice, Salvador, Brazil, 12-19 April 2010. A/CONF.213/IE/8.
- Takemura, N. (2012). Floating Space Debris contaminating the Beach of Earth: To

- ward the time/space theory for complexity green criminology. *Toin University of Yokohama Research Bulletin*, 27: 59-64.
- Takemura, N. (2013). Toward a Time-and-Space Theory for Complex Dynamic Green Criminology: Complexity, Contingency and Nonlinearity of Human-Environment Interactions. *Toin University of Yokohama Research Bulletin*, 29: 81-91.
- 竹村典良 (2014a) 「グリーン犯罪学序説：環境犯罪・エコ犯罪とその統制の「複雑性」と「不確実性」」桐蔭法学 20 卷 2 号 (2014 年) 103-137 頁。
- 竹村典良 (2014b) 「グローバル環境犯罪とカオス複雑系グリーン社会正義」桐蔭横浜大学法学部編『法の基層と展開～法学部教育の可能性』(信山社、2014 年) 205-224 頁。
- Takemura, N. (2015). *Dynamic Complexity of Environmental Crime: Some Aspects of Applied Green Criminology*. The Thirteenth United Nations Congress on Crime Prevention and Criminal Justice. Doha, Qatar, 12-19 April 2015. CONF.222/IE/7.
- Takemura, N. (2019). Astro-Green Criminology: A New Perspective against Space Capitalism. Outer Space Mining may make the Same Mistakes in Space. *Toin University of Yokohama Research Bulletin*, 40: 7-16.
- Takemura, N. (2021a). *Desperate 'Dystopia' instead of Brilliant 'Utopia' in Environment and Ecology: Abyss as a Result of Progress of Scientific Technology and Development of Society*. The Fourteenth United Nations Congress on Crime Prevention and Criminal Justice, Kyoto, March 7-12, 2021.
- Takemura, N. (2021b). *Intensification of Natural Resource Conflicts, Environmental Crime, Human Rights Abuse, and Arguments for and against Introducing International Environmental Court*. The Fourteenth United Nations Congress on Crime Prevention and Criminal Justice, Kyoto, March 7-12, 2021.
- 竹村典良 (2021c) 「グリーン犯罪学応用研究：輝かしい「ユートピア」ではなく、絶望的な「ディストピア」に陥った環境とエコロジー～科学技術の進歩と社会の発展の結果としての「奈落」～」桐蔭法学 27 卷 2 号 (2021 年) 39-89 頁。
- Takemura, N. (2021d). Ecological Transition from 'Red AI' to 'Green AI' on the Move: Tackling Environmental Complexity with Super Intelligence. *Toin University of Yokohama Research Bulletin*, 45: 27-38.
- 竹村典良 (2022a) 「宇宙グリーン犯罪学」と「宇宙環境刑法」の基本構想～宇宙資本主義・人新世に基づく宇宙探査・開拓・開発批判～」桐蔭法学 29 卷 1 号 (2022 年) 71-100 頁。
- Takemura, N. (2022b). Extraterrestrial Super Intelligence and Energy-and-Resource Control in the Star, Galaxy, and Universe. *Toin University of Yokohama Research Bulletin*, 47: 27-37.

- Takemura, N. (forthcoming). From Global Green Criminology to Astro-Green Criminology: Intensification and Expansion of Natural Resource Conflicts, Environmental Crime, Human Rights Abuse from the Earth to Outer/Deep Space and Argument for/against International and Astro Environmental Court. In: Guzik-Makaruk, E. M., Laskowska, K., and Filipkowski, W. (eds). *Individuals, society, and the state – from the perspective of penal law and criminology*. Liber Amicorum in Honour of Professor Emil W. Plywaczewski on the occasion of his 70th birthday.
- 滝澤美奈子 (2012) 『アストロバイオロジーとはなにか：宇宙に、生命の起源と、地球外生命体を求める』(ソフトバンククリエイティブ、2012年)。
- Tegmark, M. (2017). *Life 3.0: Being Human in the Age of Artificial Intelligence*. Penguin Books. (水谷淳訳『LIFE 3.0：人工知能時代に人間であるということ』紀伊國屋書店、2020年)
- 寺藺淳也 (2022) 『2025年、人類が再び月に降り立つ日：宇宙開発の最前線』(祥伝社、2022年)。
- Tourangeau, W. (2022). A System-Based Approach to Green Criminology. *Critical Criminology*, 30(1): 1–17.
- Ulmschneider, P. (2003). *Intelligent Life in the Universe*. Berlin und Heidelberg: Springer Verlag. (須藤靖・田中深一郎・荒澤遊・杉村美佳・東悠平訳『宇宙生物学入門～惑星・生命・文明』丸善出版、2013年)
- Vakoch, D. A. (2011). Integrating Active and Passive SETI Programs: Prerequisites for Multigenerational Research. In: Vakoch, D. A. (ed). (2011) *Communication with Extraterrestrial Intelligence*. Albany: State University New York Press. 253–278.
- Vakoch, D. A. (ed.) (2013). *Astrobiology, History, and Society: Life Beyond Earth and the Impact of Discovery*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Vakoch, D. A. (ed.) (2014a). *Archaeology, Anthropology, and Interstellar Communication*. Washington D. C.: National Aeronautics and Space Administration.
- Vakoch, D. A. (ed.) (2014b). *Extraterrestrial Altruism: Evolution and Ethics in the Cosmos*. Berlin and Hidelberg: Springer.
- Vakoch, D. A., and Dowd, M. F. (eds.) (2015). *The Drake Equation: Estimating the Prevalence of Extraterrestrial Life through the Ages*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vakoch, D. A., and Harrison, A. A. (eds.) (2011). *Civilizations Beyond Earth: Extraterrestrial Life and Society*. New York and Oxford: Berghahn Books.
- Vidal, C. (2016). Stellivore Extraterrestrials? Binary Stars as Living Systems. *Acta Astronautica*, 128: 251–256.

- 渡部潤一 (2019) 『第二の地球が見つかる日』 (朝日新聞出版、2019 年)。
- Webb, G. (2018). Introduction. *Journal of the British Interplanetary Society (JBIS), Fermi Paradox Special Issue*, 71(6): 198–199.
- Webb, S. (2011). Pondering the Fermi Paradox. In: Shuch, H. P. (ed.) (2011). *Searching for Extraterrestrial Intelligence: SETI Past, Present, and Future*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 305–321.
- Webb, S. (2015). *If the Universe Is Teeming with Aliens ... WHERE IS EVERYBODY? : Seventy-Five Solutions to the Fermi Paradox and the Problem of Extraterrestrial Life*. Springer International Publishing Switzerland. (松浦俊輔訳 『広い宇宙に地球人しか見当たらない 75 の理由：フェルミのパラドックス』 青土社、2018 年)
- Wee, A. (2016). *The Dyson Sphere*. Submitted as coursework for PH240, Stanford University, Fall 2016.
- Wright, J. T., Friffith, R. L., Sigurdsson, S., Povich, M. S., and Mullin, B. (2014). The \hat{G} Infrared Search for Extraterrestrial Civilizations with Large Energy Supplies. II. Framework, Strategy, and First Result. *The Astrophysical Journal*, 792(1): 27–38.
- 山岸明彦編 (2013) 『アストロバイオロジー：宇宙に生命の起源を求めて』 (化学同人、2013 年)。
- 山岸明彦 (2016) 『アストロバイオロジー：地球外生命の可能性』 (丸善出版、2016 年)。
- 矢野創 (2017) 「百論は一探に如かず：生命探査は深海から深宇宙へ」現代思想 45 巻 14 号 (2017 年) 119–127 頁。
- Zaitsev, A. L. (2011). METI: Messaging to extraterrestrial intelligence. In: Shuch, H. P. (ed.) (2011). *Searching for Extraterrestrial Intelligence: SETI Past, Present and, Future*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 399–428.

(たけむら・のりよし 桐蔭横浜大学法学部教授)