

提言

人類のフロンティアの拡大と持続性確保
を支える設計科学の充実



平成29年（2017年）8月30日

日本学術会議

総合工学委員会・機械工学委員会合同

フロンティア人工物分科会

この提言は、日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同フロンティア人工物分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同フロンティア人工物分科会

委員長	川口淳一郎	(第三部会員)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所宇宙飛翔工学研究系教授・シニアフェロー
副委員長	平朝彦	(連携会員)	国立研究開発法人海洋研究開発機構理事長
幹事	中谷和弘	(第一部会員)	東京大学大学院法学政治学研究科教授
幹事	向井千秋	(第二部会員)	東京理科大学副学長
	萩原一郎	(第三部会員)	明治大学先端数理科学インスティテュート (MIMS) 所長、研究知財戦略機構特任教授
	藤井孝藏	(第三部会員)	東京理科大学工学部経営工学科教授
	観山正見	(第三部会員)	広島大学学長室特任教授
	犬竹正明	(連携会員)	東北大学名誉教授、一般財団法人高度情報科学技術研究機構理事
	北里洋	(連携会員)	国立研究開発法人海洋研究開発機構東日本海洋生態系変動解析プロジェクトチームプロジェクト長
	佐々木晶	(連携会員)	大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻教授
	鈴木真二	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	柘植綾夫	(連携会員)	社団法人科学技術国際交流センター顧問
	広瀬茂男	(連携会員)	東京工業大学機械宇宙システム専攻教授・センター長
	藤田修	(連携会員)	北海道大学大学院工学研究院教授
	松尾亜紀子	(連携会員)	慶應義塾大学理工学部教授
	松岡猛	(連携会員)	宇都宮大学基盤教育センター非常勤講師
	大和裕幸	(連携会員)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所理事長

本提言の作成にあたり、以下の方々に御協力いただいた。

石橋正二郎	国立研究開発法人海洋研究開発機構海洋工学センター海洋技術開発部探査機技術グループグループリーダー代理
牛尾知雄	大阪大学工学部電気電子情報工学専攻准教授
馬場尚一郎	国立研究開発法人海洋研究開発機構海洋工学センター海洋技術開発部長期観測技術グループグループリーダー代理
巻俊宏	東京大学生産技術研究所准教授
宮本英昭	東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻教授
渡辺重哉	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構航空技術部門次世代航空イノベ

ーションハブハブ長

本件の作成に当たっては、以下の職員が事務を担当した。

事務	石井 康彦	参事官（審議第二担当）（平成 29 年 7 月まで）
	糸川 泰一	参事官（審議第二担当）（平成 29 年 7 月から）
	松宮 志麻	参事官（審議第二担当）付参事官補佐（平成 29 年 7 月まで）
	高橋 和也	参事官（審議第二担当）付参事官補佐（平成 29 年 7 月から）
	柳原 情子	参事官（審議第二担当）付審議専門職

要 旨

1 作成の背景

フロンティア人工物分科会は、航空宇宙、船舶海洋への移動・輸送手段に関わる設計科学の推進を目指してきた。本分科会は、平成28年6月に、本提言に反映すべき推進すべき立ち位置、環境に関する意見の抽出を目的とし、理工学（第三部）の範囲を超えて、第一部、第二部の分野をも含んだ公開シンポジウムを開催した。

人類は、陸上から海、海底、空、宇宙へとその活動領域を拡大させてきた。フロンティアへの取組みは、理学的なアプローチ、及び工学的なアプローチの双方が車の両輪となっ
てはじめて可能となる。前者は知らないことを知らしめる認識科学であり、後者は無い物を創る設計科学と定義できる。この両輪の取組み方は、実は、人文・社会科学にも革命的なインパクトを及ぼすものであったし、今後もそうであろう。

地球温暖化など地球的規模の諸問題の理解と解決に、フロンティア人工物領域の科学技術の推進は不可欠である。学術会議の果たす大きな使命の1つは、認識科学と設計科学の両輪での推進である。その推進方法の改善こそが本提言起草の起点である。

本提言は、せまい分野・領域での推進を語るのではなく、学術の横断的な課題であるフロンティアをめざす活動全域にわたる、とくに設計科学の重要性に言及している。

2 提言の内容

本書は、大きく3つ提言を述べている。それらは、(1)政治・行政と科学技術の距離の改善、(2)「戦略」不在の解消、および(3)育成・教育のあり方の抜本的な改善である。

(1) フロンティア人工物分野における政治・行政と科学技術の距離の改善と、その設計科学分野での普遍的な展開

フロンティア人工物分野には、目的や技術開発、運用段階に様々なレベルがある。これを効率よく遂行するには、A) それら多様なレベル全体を見通す仕組み、B) 相互の関係を密接に繋げる仕組み(相互距離の短縮)、C) 計画の最適化を行う仕組み (check and balance 機能) を置いて、長期的、継続的な科学政策として民間を視野に入れた取組みが必要である。たとえば、総合科学技術イノベーション会議に、フロンティア人工物部会(仮)のような常設的な計画立案へ向けた系統建てられた組織(以下メカニズム)を設置し、経済団体とも連携し、長期的な科学技術戦略を策定・実行すべきであり、日本学術会議の中に産業界との連携を俯瞰的に検討する常設的メカニズムを設置するなど、(学術界-産業界)連携を政策へ反映させ、フロンティア人工物分野にとどまらず、設計科学分野で普遍的な展開すべきである。

(2) フロンティア人工物分野における国家「戦略」不在の解消と、その設計科学分野での普遍的な展開

フロンティア人工物分野においては、「個別の投資のアウトカム目標」だけではなく、それらの社会経済的価値の最大化と我が国の技術安全保障（ソフトパワーの発揮）に貢献する視点に立って「横櫛（くし）的アウトカム目標」を国家戦略に組入れることが必要である。国の投資効果の評価には、「技術安全保障と産業・経済、文化の発展の共存」の視点を組入れ、世界の地政学的問題解決へ向けた技術安全保障の強化を提言し、また、障害となる現行の行政における諸制度の見える化を行い、制度改革に取り組み、また、出口戦略の問題点と是正に向けた系統建てられた実体のある組織の設置を提言する。

たとえば、関連府省と学术界・産業界との協働の場（例：フロンティア人工戦略会議）を創設するなど、支援制度等の充実により、エネルギー、環境分野への技術開発を国家戦略に組み入れ強力で推進し、フロンティア人工物分野にとどまらず、設計科学分野での普遍的な展開を提言する。

(3) フロンティア人工物分野における人材育成・教育のあり方の抜本的な改善と、その設計科学分野での普遍的な展開

フロンティア人工物分野には、理系・文系の交流機会の増大、教育・科学技術・イノベーション政策の三位一体的推進のための産・学・官間の人材交流促進などの施策が必要である。

俯瞰的能力を持った人材は、能動的に解決に取り組むプロジェクトを繰返し体験することによって獲得・定着される。そのために、プロジェクト型の教育システムを導入し、経験を有する社会人を参加させる制度の創設を提言する。

初等・中等教育から高等教育におけるアウトプット教育の強化が人材の育成の要である。設計科学の振興をはかる教育再生、高度教養教育の拡充、中高校教育における工学課程の新設・充実を制度化することを提言する。

これらの実現のために、政府・行政のみならず、経済・産業界が資金を拠出する形態の新たな資金制度、促進する新たな組織の発足を提言する。

これらが、フロンティア人工物分野にとどまらず、設計科学分野に普遍的に展開されるべきである。

以上、学会活動の活動全域たる、人文社会科学、医学・薬学、農学、理工学を横断する、認識科学と設計科学を俯瞰し、フロンティア人工物に関わる両輪の活動を展開する目的と必要性を再確認し、併せて、現状が抱える課題を抽出して、改善を求めた。これらは、フロンティア人工物分野にとどまらず、設計科学分野に普遍的に展開されるべきである。

政府・行政と学術コミュニティに対し、早急な対応を求めるものである。

目 次

1	序論	1
(1)	提言にいたる経緯と、意見抽出の過程	1
(2)	提言 2011 との関係・方向	2
(3)	フロンティア人工物分野の多様な科学的側面	3
①	能力の獲得と、文化史・人文社会的視点からの意義	3
②	工学/認識科学が支える、到達点(有形)と知(無形)のフロンティアの存在	4
(4)	提言を発出する先	5
2	フロンティア人工物コミュニティが担う活動領域	6
(1)	表層下： 海洋・深海探査船	6
(2)	表層： 船舶、航空機	7
①	船舶	7
②	航空機	9
(3)	近地球： 宇宙輸送機	10
(4)	深宇宙： 宇宙探査機	11
3	提言	13
(1)	フロンティア人工物分野における政治・行政と科学技術の距離の改善と、その設計科学分野での普遍的な展開	13
①	政府機構の簡素化 常設的な計画立案へ向けた系統建てられた組織の必要性	13
②	学術界機能の不足の是正 学術界と産業界の連携強化	14
(2)	フロンティア人工物分野における国家「戦略」不在の解消と、その設計科学分野での普遍的な展開	14
①	技術安全保障、産業・経済、文化の発展から誘導される国家戦略	14
②	地球防衛や、エネルギー、環境分野への貢献と持続性確保戦略	15
③	世界政情の安定化への貢献(技術安全保障と)産業・経済、文化の発展の共存	15
④	産業・経済への利用・応用への貢献	15
⑤	出口戦略の問題点と是正 長期的視点での戦略的推進の欠落がもたらす影響	15
(3)	フロンティア人工物分野における育成・教育のあり方の抜本的な改善と、その設計科学分野での普遍的な展開	16
①	人材育成一般	16
②	高度教養教育	16
③	アウトプット教育	17
④	資金制度の新設	17
<参考資料 1>	審議経過	20
<参考資料 2>	シンポジウム開催	22
<参考資料 3>	提言 2011	43

1 序論

(1) 提言にいたる経緯と、意見抽出の過程

日本学術会議総合工学委員会フロンティア人工物分科会は、2011年に提言「人類の持続性確保に貢献するフロンティア人工物科学技術の推進」をまとめ、我が国が宇宙航空および船舶海洋に関わる工学を遂行する必要性を述べ、それに必要な課題の解決を発信した。フロンティア人工物とは、辺境に到達させるべき移動・輸送手段の総体を指す。宇宙および海洋での活動は、さまざまな極限状態を開発・利用し人類の未来を切り拓く意味でのフロンティア分野に属する。本分科会では、これに社会基盤としての新しい航空、船舶システムを含めた航空宇宙・船舶海洋およびそれらに付随する先端的人工物に関する科学技術を「フロンティア人工物」科学技術と定義している。

フロンティア人工物分野の近年の発達は著しいが、安全性や環境問題に課題を残す航空・船舶等の輸送系分野や、理工学および多分野との連携や研究者コミュニティの醸成の点で未成熟な海洋地球観測・探査分野、また、国の重要な施策化が要請される地球外フロンティア開拓分野などにおいて、その遂行には、未だ課題が多数残されている。さらには科学技術の伝承、若手育成あるいは産業基盤の育成などの点で国・研究機関・科学者コミュニティの連携した努力が必要である。このことに鑑み、横断的、俯瞰的な観点からフロンティア人工物分野の科学技術推進のあり方、社会への貢献および人材育成・教育等の課題を検討し、どうすれば人類の持続性確保に貢献できるかを本分科会で検討してきた。

2011年提言で見いだされ、確認された、推進すべき必要性和目的は、極めて普遍的であって、その後の当該分野の活動の展開を経た現在においても、いまだにみじんの揺るぎもない。フロンティア人工物を用いた、理学観測・研究の重要性は、宇宙開発や海洋開発を見れば自明でさえある。しかしながら、一旦理工学を離れたとき、すなわち人文社会科学や医学薬学、農学分野からみた場合、フロンティア人工物に関する科学技術を巨額のリソースを投じて推進しなくてはならない合理性は、なかなか容易には理解されがたい面があるようであり、2011年の提言査読過程においても、この議論があった。今回、本分科会が改めて提言を発信する最大の目的は、人類のいわゆる科学全体の視点から、フロンティアに挑む活動がどのように位置づけられるのかを再点検し、その上で、フロンティア人工物科学技術を遂行する説得力のある説明、コンペリング・ストーリーを提示することにある。さらに、遂行する上で解決しなくてはならない課題を抽出し、解決に向けて採られるべき、政府・行政と当該コミュニティが背負わなくてはいけない責務を提言・発信することにある。

本分科会は、この再点検の確認と、課題抽出に向けて、それが本分科会や関連コミュニティによる自己主張とならぬよう、人文社会科学から、理工学にいたる横断的な意見抽出の過程を求め、平成28年6月27、28日に、公開シンポジウム「フロンティアをめざす、サイエンスとアート」を開催した。ここにいうサイエンスとは、人文科学、生命科学、自然科学を総合的に指し、これを実施する上で必要な、社会科学、医学・薬学、農学、工学をアート、すなわち人為的 (artificial) 科学を指している。これは、学術

会議が掲げる、認識科学と設計科学に対応するものでもある。サイエンスとは、「在るものの探求」であり「知らないことを知る」ことである。アートとは、「在るべきものの探求」である「無いものを創る」ことである。学会活動とは、まさに、サイエンスとアートそのものであり、それらによって、知と行動の限界たるフロンティアへ挑む活動に他ならない。同シンポジウムでは、モデレーターに積極的に、主要新聞社、メディアの分野で活躍中の論説委員、解説委員に参加いただき、登壇者としては、つとめて、サイエンスとアートを対比、あるいは人文社会系と理工学系を対比できるようにコーディネートした。シンポジウムで見いだされ、抽出された課題などを、本分科会委員が分担して、要約と整理を行い、本提言を起草するエビデンスとした。同様に、その要約と整理された事項を付録に源泉として添付している。

本提言は、上記のシンポジウムを通じて、単に狭い領域の、いわゆる輸送・移動手段を核とした、フロンティア人工物を対象とする工学分野にとどまらず、第一部、第二部も含め、人文社会、医学・薬学、そして理工学にいたる広範な認識科学たるサイエンスと設計科学たるアートの観点から、フロンティアを目指す取り組みを俯瞰し、本分野の活動の立つ位置を再確認するとともに、遂行にあたって取り組むべき方向を探ったものである。したがって、その内容は、本分科会の名称を付してはいるものの、学会活動全体にかかわる提言でもある。

学会第 19 期の「学術の在り方常置委員会」が発出している「新しい学術の体系」の中で、

『・認識科学と設計科学

「あるものの探究」を主な目的として発展してきた従来の科学を「認識科学」と呼ぶとすれば、「あるべきものの探求」を目的とする知の営みには広い意味での「設計科学」という呼び名がふさわしい。設計は一定の目的と価値の実現を目指すものであるから、設計科学は目的や価値を正面から取り込んだ新しい科学でなければならない。一方、設計は人間のためのものであるから、設計科学の対象は人工物システムである。』

と記述されており、本提言の内容が、フロンティアを指向する設計科学の充実にある点を標題に明示した。

(2) 提言 2011 との関係・方向

2011 年提言では、このフロンティア人工物に係る活動が、『輸送系の構築により、安全・安心な社会・豊かな生活をもたらす、エネルギー・環境の課題を解決し、人類の持続性を確保する。』（2011）ものと位置づけた。今回、提言を改めて発出するにあたり、これを『人類の活動範囲の拡大と持続性確保を支える学術の充実』（2017）へと、全認識科学、全設計科学の観点から再定義している。

本提言第 2 章での、領域別の記述においては、2011 年以降における、本フロンティア人工物に係る領域での進展を適宜加筆している。本提言は、本領域の活動・展望に終始するわけではなく、提言すべき事項を前回提言と独立に、第 3 章の提言本体に掲げている。

本提言は、2011年提言の再掲を行うのではなく、主体的に第22期、23期にてフロンティア人工物分科会が取り組んだ議論をもとに、本提言で自己完結するよう記述する。

(3) フロンティア人工物分野の多様な科学的側面

① 能力の獲得と、文化史・人文社会的視点からの意義

人類は、陸上から海、海底、空、宇宙へとその活動領域を拡大させてきた。このような活動領域の拡大のためには、科学技術の進歩が不可欠であったことはいうまでもない。

海、海底、空、宇宙における人類の活動は、単にそこに行くという移動にとどまらず、陸上では得られない特別の環境下における調査研究、海、海底、空、宇宙といったフロンティアへの人類の実りある取り組みは、各空間の自然現象に関する真理の探求という理学的なアプローチ、及び、移動、空間利用、資源開発をどう首尾よくすすめるかという工学的なアプローチの双方が車の両輪となってはじめて可能となるものである。

さらに、このような人類のフロンティアへの取り組みは、人文・社会科学にも革命的なインパクトを及ぼすものであったし、今後もそうであろう。人類の活動空間の拡大は、各時代におけるグローバル化をもたらした。このことは、例えば航空機による国際航空輸送の普及なしに現代における国境を超えた人やモノの行き来は考えられないことから明らかであろう。また、人類の活動空間の拡大は、生活を豊かにするにとどまらず、人類の存在を同定し相対化するものとなった。人類とは、太陽系の中の一惑星である地球に存在する一生命体にすぎず、また宇宙船地球号の搭乗者の存在である。宇宙の実態解明は、この人類を絶対視することが傲慢であるとの謙虚な視座を持つこと、および人類がいかに持続可能性を維持することが重要であるかを示す効果を有している。

我が国のようなフロンティアにおける活動能力のある国家や科学者は、人類全体のために引き続きその活動領域を拡大し、人類の持続可能性に貢献していくことを使命としている。科学技術立国として、我々がフロンティアにおける活動を主導することは、人類としての責務であると同時に国際社会において尊敬を勝ち取るために不可欠である。

かくして、フロンティアをめざす認識科学と設計科学こそが、学会の果たす使命であり、ここに、本分科会の提言起草の起点があるといえる。

フロンティア人工物をめぐっては、その未来の動向に懸念もある。人工知能(AI)技術の発展が、ゲーム界のみならず、自動運転などへと飛躍的な展開を見せ始めている。フロンティア人工物は必ずしも、ロボットやAIを意味、代表するものではないが、現行のロボットを超えた人造人間は、とくに辺境への探査においては、まさに、フロンティア人工物なのである。当該分野の推進においては、精神的な豊かさへの貢献面も考えられるべきであり、物理的な移動手段の進展が、豊かで独自の文化圏を破

壊しうる側面があることも忘れてはならない。技術も倫理観で制御・管理すべき面があり、認識/設計科学たれとも急速な展開には、ときに規制がかけられるべき事態も出現するであろう。

フロンティア人工物に AI 技術が応用されることは必至であり、その活用には十分な社会的許容性を検討する必要もある。ヒトと AI の競合が懸念され、平和的に共存する知恵を獲得すべきである。シンギュラリティを迎えた時の、ヒトとの共存の危険性に配慮が求められるであろう。いずれ、AI が政策や意思決定にまで導入される事態も訪れることが想定される。そのリスクや、またそのリスクを回避しつつ、AI を導入した政策や意思決定を構築する方法も議論されるべきである。

② 工学/認識科学が支える、到達点(有形)と知(無形)のフロンティアの存在

上述のように、フロンティア人工物に関わる科学技術分野の遂行は、多様な科学的側面において意義づけられるが、その上にたつて、具体的には、狭義において、以下の意義・責務を果たすものと位置づけられよう。

- 1) 地球上および地球外への先進的な輸送手段の提供、つまり「(有形)のフロンティア」の開発や、「行ける能力」の獲得は、今後も社会から強く要請される。フロンティア人工物に関わる科学技術分野の遂行には人類の活動領域の拡大に貢献する責務がある。「はやぶさ」の成功事例に挙げられるように、宇宙探査は、我が国が国際的にも主導すべき領域であるといえる。
- 2) 宇宙・地球・海洋の観測・探査を通して、新しい自然観の構築に貢献し、さらに理学と工学の融合により、直面しているエネルギー・環境問題の危機を解決する義務も有している。フロンティア人工物に関わる科学技術分野の遂行では、「行けた能力」でサイエンスが獲得され、またアウトカムが社会へインパクトをもたらすことが特徴である。地球惑星科学面での、深海探査や地球ダイナミズムへの理解の促進、そして生命探査にいたる、直接の観測手段は、フロンティア人工物なくしては生まれない。
- 3) フロンティア人工物に関わる科学技術分野の遂行は、流体力学、熱機関、構造材料、通信や制御技術、設計システムなど広範な学術や技術の基礎の上に、宇宙や深海などの極限世界の探査などに対応するシステムを構築してきた。つまり、「(無形)のフロンティア」の上に「行ける能力」の獲得がなされてきた。「知」の探求こそ、フロンティアである。

人類にとって新たな試練とも言うべき地球環境問題でも、正しい地球環境の理解なしには対応策をたてることもできず、認識科学たる工学、フロンティア人工物に関わる科学技術が果たすべき役割は大きい。フロンティア人工物に関わる科学技術分野を遂行することは、理学と工学の融合により、直面しているエネルギー・環境問題の危機を解決する義務も有している。今後 100 年、1000 年スケールでの人類持続性の確保は、新しい地球観の上に構築されるべきである。上述の 2) の意義に鑑みれば、地

球温暖化などわが国および地球における諸問題の理解と解決に、フロンティア人工物領域の科学技術の推進は不可欠である。

フロンティア人工物に関わる科学技術分野の遂行は、理学と工学を融合させた総合(理工学)的な見地で、大きな問題を捉えて、解決されていく必要がある。本提言は、せまい範囲での認識科学、設計科学を語るのではなく、学会の横断的な課題であるフロンティアをめざす活動を支えている。ここが「総合工学フロンティア人工物分科会」が提言を起草する起点である。

(4) 提言を発出する先

発出される先は、政府・行政と学術コミュニティの双方である。提言は、改善を促す要求でありながらも、課題を産んだコミュニティ自身への自省でもある。次世代へ、かかる活動を承継させるためにも、本提言が第3章にて掲げる、3つの提言が実行されるべきである。

2 フロンティア人工物コミュニティが担う活動領域

フロンティアへの取組みとしては、「到達点（有形）」としてのフロンティア（海洋、宇宙）への取組みと、それらを支える「工学技術（無形）のフロンティア」の両方を意識する必要がある。

領域別の活動については、すでに2011年時の提言にて、その大要をまとめ、また個々の活動に関する意義付けも行われている。

(1) 表層下：海洋・深海探査船

地球温暖化に伴う海洋酸性化、海洋資源開発、地震津波防災など、世界規模の問題は海に関係している。海は、不透明、高いレイノルズ数、高い水圧などの、海水特有の性質から、海洋、とくに深海底の調査には、特殊な機器を必要とする。宇宙空間には100名を超える宇宙飛行士が滞在しているにもかかわらず、世界最深部のマリアナ海溝チャレンジャー海淵には、人類は3名しか到達していない事実が、深海調査の特殊性と難しさを物語る。深海がフロンティア領域である所以である。

深海観測機器には、有人潜水船（HOV）、有索無人器（ROV）、自動操縦機器（AUV）、ランダーなどがある。本邦では、海洋研究開発機構が大学や関連企業をリードして、機器開発に取り組んでいる。一方、有人潜水船「しんかい6500」は製造後、25年以上が経過しているなど、製造技術の継承が問題になっている。このことから「フルデプス潜水船」建造を目指した提案がなされ、日本学術会議の大型研究計画2014に重点大型研究計画の一つとしてリストアップされた。現在、政府部内に委員会ができ、国家基幹技術の一つとして議論されている。

一方、ハイテク機器に必要な希土類元素やエネルギー資源の安定供給を目指して、世界が競うように海底鉱物資源開発を進めている。その為には、広範囲の海底をマッピングする自動操縦型無人ロボット（AUV）や物理化学センサー類の開発が進められている。

海域の巨大地震それに伴う大津波を早期に観測し、沿岸住民が安全に避難出来る防災減災を目指した、海底ケーブルネットワーク網の設置が急がれている。南海トラフ域にDONET I, IIが設置され、観測を開始した。東北日本への設置の必要性が議論されている。巨大地震の発生メカニズムを理解する事は、大規模地震災害からの防災減災に繋がる。海域地震断層を直接、掘削し、地震の発生メカニズムを解明すべく、世界最高の掘削能力を持つ海底掘削船「ちきゅう」が活躍している。

小型海底ロボットのランダーは欧米で発達している。機動的な観測に適しており、本邦における導入が急がれている。

今後、これらの機器のオペレーションに関する経験値を高める必要がある。また、これらの機器を組み合わせた観測ネットワークを構築し、効率的かつ先端的な観測を推進すべきである。海洋先進国では海洋観測網の整備を進めており、日本でも、戦略的に機器開発と観測体制を構築することが望まれる。第3章で掲げる、政治・行政と科学技術の距離の短縮が課題である。

「行ける能力」で展開される資源等をめぐる競争・権利の主張は、まさにフロンティアの人文的側面でもあることを示している。同様に、「行けた能力」で展開される防災は、社会科学が取り組む課題であり、同時に、地球惑星科学、生命科学などのサイエンスが展開される環境を提供する。

「技術（無形）のフロンティア」への取組みの存在は重要であり、乗り物/輸送手段だけではなく、支える工学という設計科学の存在、その意義が認識されるべきである。

(2) 表層：船舶、航空機

① 船舶

海洋は人間の活動の場としてのフロンティアであり、我が国が有する科学技術を最大限活用して、海洋の未知なる領域の研究等による人類の知的資産や全地球的課題の解決を目指す。

新興国等の経済発展に伴い、海洋からの石油・天然ガス生産も増加傾向にあり、海洋資源開発プロジェクトは今後も中長期的に拡大していくことが予測されている。また、技術の進展により、大水深での新たな開発プロジェクトが進展している。

急がれるべき活動としては、具体的には、海上交通システム、海洋環境の保全、海洋再生可能エネルギーの開発、海洋情報の蓄積と利用があげられる。これらへの基礎技術として、これまでの造船海洋工学など以外に、燃料化学技術やIoT、人工知能(AI)、ビッグデータの活用などが必須である。

これらは、「行ける能力」を獲得する活動であるが、後の「行けた能力」で展開されるさらなる技術恩恵にも眼が向けられるべきである。技術・ニーズを踏まえた政策がなくては、戦略不在であると言わねばならない。「技術（無形）のフロンティア」への取組みの存在として、支える工学という設計科学の存在を認識しなくてはならない。工学者の育成・工学教育は、非常に重要な課題である。

以下に、戦略として認識されるべき課題を具体的に掲げる。これらに向けて、第3章にて、提言を掲げる。

- 1) 高速化：気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）において、2020年以降のGHG排出削減等のための新たな国際枠組みである「パリ協定」が採択されたことに伴い、我が国は、2030年度に2013年度比26%削減という目標を掲げているが、運輸分野の一モードである内航海運についても、更なる省エネ化やモーダルシフトの推進が求められている。燃料費が高騰しているため高速化への要求は、現在は、高くはない。しかし、今後、国内輸送でもトラックに勝ってモーダルシフトを実現するためには、船体そのものの高速化が必要となり、そればかりでなく、昼夜を問わず安全に高速運航のできる船舶が必要である。これには管制システム衝突防止システムなどのインフラも含めた開発が必要である。AIの利用なども考えられるべきである。
- 2) 大量輸送：国においては海事産業の生産性革命（i-Shipping）を推進するための

取組を行っており、IoT、ビッグデータ等を活用した国際競争力の強化を図る必要がある。また、地球温暖化対策として輸送効率を向上させるため、船舶の大型化を行う必要があるが、港湾設備の限界などから 20000 個積みコンテナ船などでひとまず止まっている。むしろ輸送データの分析などからコンテナを集めて効率よい配船を行う IoT 技術の開発などが求められる。

- 3) 環境保全：IMO（国際海事機構）では SO₂ については 2020 年に現在の 3.5 パーセントを 0.5 パーセントまで引き下げること、GHG については 2025 年に現在よりも 30 パーセントの削減等国际的な CO₂ 排出規制、SO_x 規制が義務付けられている。その規制への対応を図るため、エネルギー効率の向上、LNG、水素などへの燃料の転換が求められている。そのための安価な燃料の製造技術などが必要である。
- 4) 造船業の課題：国においては海事産業の生産性革命（i-Shipping）を推進するための取組を行っており、IoT、ビッグデータ等を活用した国際競争力の強化を図る必要がある。造船業は多品種少量生産品であり、自動車のような自動化システム生産方法はとれない。設計から生産、部品管理、調達や作業員、工場の情報をコンピューターに入れ、また数十万点に及ぶデータを IoT ですべて統括して効率を挙げる工夫が必要である。これにより価格競争力を高める必要がある。
- 5) 海運業の課題：国においては海事産業の生産性革命（i-Shipping）を推進するための取組を行っており、IoT、ビッグデータ等を活用した国際競争力の強化を図る必要がある。国際経済の停滞や過剰な船腹によって運賃の低迷が続き、より効率的な運航が求められている。IoT、AI という技術をつかって運航データから最適航路などを求める技術が必要である。運航の効率化には航路の状況や積み荷の量、エンジンやプロペラの効率などを様々なデータを用いて求めて、さらに効率的なメンテナンスや次世代船型の開発につなげなくてはならない。船の設計を造船所ではなく船社が行う時代、あるいはビジネスモデルになりつつある。
- 6) これらの他、都市周辺開発と河川利用、災害対応、温暖化で沈没する都市を救うための海上都市の創出、などがある。

このように、船舶という「行ける能力」獲得に向けて、船舶に関わる技術・海事産業のニーズを踏まえた政策がなく、戦略が不在であると言わねばならない。その理由は、政治・行政と科学技術の距離に起因すると言することができる。一方で、「行けた能力」で獲得される、人文社会的な効果・影響にも眼が向けられるべきであろう。自然科学たる理学面での成果は極めて自明であるが、高速輸送が、社会的な物流の世界を変革させ、社会科学にも大きな影響を与えることも必至である。フロンティア人工物分野が、単に工学にとどまらず、広範な認識科学と設計科学に影響を与え、また牽引するという視点で見れば、当該分野の遂行の意義は自ずと明らかである。

② 航空機

人類にとって不可欠な社会基盤である航空機が100年先にも持続可能であるためには、環境、エネルギー、安全の3つがキーとなる課題である。地球温暖化の脅威は確実に広がっており、航空においても無視できない。同時に環境負荷低減のための燃費向上は経済性の向上に直結する。また、いつかは来る化石燃料の枯渇に備え、再生可能エネルギーや代替燃料を用いた、環境に優しいエミッションフリーな航空機の実現が将来的に必須となる。さらに安全性向上技術による事故率の低減も永遠の課題であり、パイロットの不足と合わせて、自動車同様の自動運転による無人化が必然であろう。

本提言では、目指すべき世界として、あるいは「行ける能力」の獲得の課題を記述しており、技術・ニーズを踏まえた政策として取り組むべき課題と対応する提言を第3章に掲げている。

このような状況にあつて、我が国は天然資源に恵まれない一方、技術の総合力が高いため、MRJ（三菱リージョナルジェット）の初飛行に代表されるような自国のための技術革新を通じて、最終的に世界全体に貢献することが期待されている。航空機は部品点数の多さ、機能の複雑さ、多様なインフラとの連携が特徴であることを考えると、航空とかかわりがなかった異分野、海外の組織と連携したオープンイノベーション手法によって、AI、IoT、ビッグデータなどを取り込んだ、複雑系を総合的に扱いうる技術フロンティアの開拓が必須なのは明らかである。

これまで航空機は人類のフロンティア拡大のためのツールとして役立ってきた。一方、近年ドローンに代表される無人機の実用化が急激に進み、有人機と無人機の組み合わせによってフロンティアが新たな広がりを見せつつある。特に災害地や厳しい気象環境下など安全性の観点で人間が近づけない場所へも到達できる無人機のフロンティア拡大能力は有望である。また、無人機により物流は抜本的な変化を見るだろうし、将来、超音速/極超音速機により大幅に移動時間が短縮されれば、ビジネス界や技術安全保障を始め、多様な人の移動において新たな価値を生み出すであろう。このように有人/無人航空機による人類のフロンティアの拡大は、全人類が享受できる直接的なコミュニケーション能力の獲得による世界平和の発展や多様な発想の融合による新たな文化の創出など、人文社会的な価値を創造するポテンシャルを秘めている。

このように人類にとって航空機への期待が高いのは言うまでもないが、我が国においては次の基幹産業候補として航空産業が期待されている。この期待に応えるためには、航空機開発・利用に関する一貫した国家戦略が欠かせないが、行政の縦割りによる統一的戦略の不在が世界における日本の地位を埋没させている。確固たる国家戦略の確立が喫緊の課題である。また、産業規模の増大に応じて携わる人材の量も質も広がらねばならないが、将来を担う若者の航空分野への関心は必ずしも高いとは言えないのではないかと懸念される。学問分野としての魅力（夢、パラダイムシフトの予感、多様な就職先など）を高め求心力を作り出すことによって、前途ある人材を育成していくことも極めて重要と考えられる。航空分野における、「技術（無形）のフロンティア」への取

組みの存在は強調されるべきである。乗り物だけではなく、支える工学という設計科学の存在の重要性が顕在化している。

日本学術会議は我が国の学術界の代表として、将来の航空輸送を牽引する革新的な学術研究（シーズ）に対して提言をすることはもちろん、産業界（ニーズ）とも接点を確保してシーズとニーズの橋渡し機能を研究開発機関と協力して検討するメカニズムを持つべきである。そのようにしてシーズとニーズが一体化した時に初めて政治・行政への提言が説得力を持つ。特に学術会議の有する人文科学、社会科学、自然科学を包括する学問の広がりがあることが将来の新しい航空輸送のブレークスルーを生み出す力の源泉となることを忘れてはならない。政治・行政と科学技術の距離を縮めてこそ、技術・ニーズを踏まえた政策が得られるのであり、その結果として、人文社会科学におよぶ広がりがある。

(3) 近地球：宇宙輸送機

フロンティアが意味する概念には極限環境での活動や困難への挑戦がある。地上からの宇宙輸送は高真空、微小重力、高温、低圧、低温、遠隔等といった極限環境を扱う移動手段であり、ロケットの成功率が世界的に見て未だに95%を越えた程度に留まっていることから明らかなように宇宙輸送システム開発の困難さは言を待たない。以下に日本における地上からの宇宙輸送機開発の最近の変化を記す。

JAXA が主導的に開発した H-IIA ロケット、JAXA と三菱重工業株式会との共同開発となった H-IIB ロケットが現在日本の主力基幹ロケットである。現在では三菱重工業株式会社がその製造と打ち上げを行い、JAXA はカウントダウンなどを含めた打ち上げ安全監理業務を担当している。H-IIA, H-IIB をあわせてすでに 38 機の打ち上げを実施、37 機が打ち上げに成功した結果成功率は 2017 年 1 月現在で 97.37% と世界に誇れる信頼性を維持している。一方、宇宙科学研究所が開発してきた固体ロケット開発は M-V 以降途絶えていたが、2013 年に、その後継機とも言える「イプシロン」の初号機の打ち上げが、2016 年には強化型の 2 号機の打ち上げに成功している。

一方、H-III ロケットの開発がスタートした。当初、次期基幹ロケットと呼ばれていたこのロケットは、自立性の確保、国際競争力のあるロケットと打ち上げサービスによって民需獲得を目指す民間事業者の主体的な参画によるロケット開発を目指す国の方針を受けて、JAXA が開発を決定したものである。H-III は、これまでのロケットに比べて民生品の利用などによって抜本的なコスト削減を目指しつつ、高い信頼性や柔軟なサービスを実現することを狙い、三菱重工をプライムコントラクター（元請け）に選定し、2020 年の試験機 1 号機の打ち上げを目指している。

米国では、民間宇宙輸送企業である SpaceX 社が登場し、そのほかにも内外の民間宇宙開発企業が登場している。軌道上への輸送ではないが、弾道のミッション、サービスを提供する、サブオービタル事業（準軌道事業）への取り組みも期待される。

大学の研究室レベルからスタートした小型衛星開発はすでにビジネスを目指す事業のレベルにまで成長してきたが、小型ロケットの世界でも同様な動きは始まっている。

JAXAにおいても、超高層大気、プラズマ物理学などの理学目的や再突入、探査機技術検証といった工学目的などに利用してきたいわゆる観測ロケットを民間の協力の下に低価格な打ち上げシステムとして利用するなどの新しい動きがはじまっている。このような変化はフロンティアと呼ばれる工学技術に共通するものと言えるかもしれない。宇宙開発が直ちにに見えるという意味では、このNear Earthの活動へ向けて、このフロンティア人工物分野が貢献すべき領域は広い。

宇宙への輸送技術を支えるのは、「技術（無形）のフロンティア」たる工学の存在である。支える工学という認識科学が存在している。宇宙開発技術の成熟化は、関係する航空宇宙工学の人材を育成し、宇宙開発に限らず、多くの優秀な人材を産業界に送り出している。しかし、昨今、宇宙開発へ参加する機会は激減しており、将来の体制維持に大きな懸念を生んでいる。人材育成・教育のあり方には、抜本的な改善が求められている。

このNear Earth領域においては、「行ける能力」の獲得と「行けた能力」で展開される利用と応用、指向方向について、吟味すべき観点が多い。前者は衛星打ち上げロケットなどの輸送手段であり、後者は、小型衛星などである。「行けた能力」で獲得される、成果すなわちニーズを展望しつつ、「行ける能力」を獲得する戦略をたてる活動が緊密になされる必要がある。このためには、同獲得戦略を担う政治・行政と、成果すなわちニーズを提供する科学技術の距離の改善が必要であり、これが「戦略」不在の解消につながる。

(4) 深宇宙：宇宙探査機

日本の深宇宙探査は、「さきがけ」、「すいせい」というハレー彗星探査ミッションに始まるが、世界の第1線で存在感を示したのは、小惑星探査機「はやぶさ」であり、その小さな天体の予想外の複雑な姿、また持ち帰ったサンプルからの様々な知見は、21世紀の小天体の物質科学をリードしている。さらに、サンプルリターン計画は、「はやぶさ2」、MMX（火星衛星サンプルリターン 計画）と続き、この分野では間違いなく世界をリードしている。また、国際協力も推し進められており、アメリカのOSIRIS-Rexとは、対等な立場でサンプル交換、科学議論が行われている。

日本は深宇宙探査の技術としても、「はやぶさ」の電気推進に加え、「イカロス」の成功によりソーラーセイル（太陽光輻射推進を用いる宇宙機）という他国にないものを獲得してきた。また、「プロキオン」により短期間開発の小型探査機による深宇宙探査に先鞭をつけた。この技術的優位を推し進めながら、深宇宙探査を展開していくのが採るべき戦略である。

惑星探査が、国民の支持を得て、大きな計画を進めていくためには、政治・行政のサポートが欠かせない。宇宙科学は、国際貢献といった、非理工学分野の観点でも高く評価されるべきである。宇宙における活躍は人々の心をかきたてるという点で、芸術やスポーツにも共通する。また、宇宙への興味・好奇心は、次の世代の人々の科学技術分野への関心を高くする。例えば宇宙探査の成果を小学校から高校までの教育現場に生かす

ことはできるはずである。人材育成の場、機会の減少と欠如を補う効果をあげるには十分な存在である。「行けた能力」を獲得することで、人文社会的にも大きな影響があるはずである。

プロジェクトの立ち上げに眼を転ずるならば、宇宙政策委員会といった、非公開委員会ベースでのトップダウン型意思決定機構を採用する密室型意思決定組織の出現とともに、すでに、理工学コミュニティからの公開委員会ベースでのボトムアップ型発出方式の提案アプローチは崩壊しており、政治・行政と科学技術の距離の改善が必要であると言わねばならない。同時に、国のこの領域における「戦略」不在も指摘しなくてはなるまい。理学成果は明確であるものの、「技術・ニーズを踏まえた政策（かつての国家基幹技術）」としてみた場合、国の存続に関わるというような観点で、説得力のある説明、コンペリング・ストーリーを明確化する努力が必要である。

忘れてはならないのが、「かぐや」、「あかつき」という重力天体におけるミッションが成功したことである。「かぐや」は、その後のGrailミッションに塗り替えられたが、重力データを発信し、ガンマ線分光、マルチバンドカメラ、可視近赤外分光器のデータは、未だにLRO（NASA 探査機 Lunar Reconnaissance Orbiter）などその後のミッションの追跡をも許していない。5年遅れで金星軌道投入に成功した「あかつき」も、新しい成果を上げ始めている。「あかつき」が示したように、宇宙からの観測が、環境評価に重要なのは、地球以外の天体でも同じである。

「はやぶさ2」がすでに打ち上げられ、また火星衛星、フォボスを対象にしたサンプルリターン計画（MMX）も計画されている。しかし、小天体だけでは太陽系は作られない。日本の将来計画として、どのような重力天体ミッションを採り上げていくのか、これには国際協調、競争が関係するが、しっかりとしたロードマップを作り議論することが肝要である。

Deep Space 分野でも、科学（理学）成果にだけ眼を奪われてはならない。「技術（無形）のフロンティア」への取組みの存在が強調されるべきである。単に乗り物だけではなく、支える工学という認識科学の存在を忘れてはならない。認識科学たる工学が、サイセンスと結びついてこそ、新たなフロンティアがひらかれる。

3 提言

前章においては、フロンティア人工物に関わる科学技術の活動を、領域ごとに記述した。とくに、2011年提言以降の変化に軸足をおいた。しかし、今回の提言が、前回の単純な加筆に終わらないことは重要である。シンポジウムや、前章に記述した各領域毎の活動が示唆するように、フロンティア人工物の科学技術活動の推進には、多くの課題があり、またそれらへの解決策、改善策が述べられ、発信されなくてはならない。本章では、大きく3つの提言を述べている。それらは、

- 1) フロンティア人工物分野における政治・行政と科学技術の距離の改善と、その設計科学分野での普遍的な展開
 - 2) フロンティア人工物分野における国家「戦略」不在の解消と、その設計科学分野での普遍的な展開
 - 3) フロンティア人工物分野における育成・教育のあり方の抜本的な改善と、その設計科学分野での普遍的な展開
- である。

発出される先は、政府・行政と学術コミュニティの双方である。提言は、改善を促す要求でありながらも、課題を産んだコミュニティ自身への自省でもある。

(1) フロンティア人工物分野における政治・行政と科学技術の距離の改善と、その設計科学分野での普遍的な展開

① 政府機構の簡素化 常設的な計画立案へ向けた系統建てられた組織の必要性

宇宙から惑星、そして地球の海洋から地球内部までの探査・開発を担う（「行ける能力」の獲得）フロンティア人工物分野には、技術開発・運用段階に様々なレベルがある。それは、

- 1) 国家基幹技術として、国レベルでの開発・運用が必要であるもの
- 2) 民用に転換可能であり、国と民間で共同開発・運用が適当であるもの
- 3) 民間ですでに運用されているが、それを積極的に適用していくべきものである。

一方、フロンティア人工物を用いた探査・運用（「行けた能力」）の目的にも、様々な側面があり、それは、

- 1) 純粋な学術研究を目的とするもの
- 2) 資源探査・居住可能性探査など、開発を目的とするもの
- 3) 人間や物資の輸送など経済行為の手段としての目的を持つものである。

これらの技術開発・運用段階と探査・運用の目的は、それぞれの人工物により、複雑な過程を経ながら変化し、また、お互いに深く関連しながら、推進すべきものである。これを効率よく遂行するには、

- 1) 多様な技術開発・運用段階のレベルで、探査・運用の目的の全体を見通す仕組み（政治・行政機構に限定されないが、何らかの組織が必要。その有効性が問われる）
- 2) 政治・行政と科学技術、相互の関係を密接に繋げる仕組み（相互の距離が遠い）
- 3) 計画の最適化を行う仕組み（check and balance 機能が求められる）

に基礎を置いて、長期的、継続的な科学政策として民間を視野に入れた取り組みが必要である。例えば、総合科学技術イノベーション会議に、フロンティア人工物部会（仮）のような常設的な計画立案へ向けた系統建てられた組織を設置し、経済団体とも連携し、長期的な科学技術戦略を策定・実行すべきである。

とくに、人類の活動範囲フロンティアの拡大と持続性確保を支える設計科学の充実をはかる、学術の政策への反映ができていないため、上述のフロンティア人工物部会（仮）等の実体のある組織の設置を求めるものである。

② 学術界機能の不足の是正 学術界と産業界の連携強化

現在の学術会議は、フロンティア人工物のように、理学から工学、学術から実用、学界から民間、政府の科学政策、そして長期にわたる計画を統合的に立案している。学術会議だけでは、産官学そして国際の全体を見通すことが困難であり、また、その中で人材育成を検討することは難しい。系統建てられた組織（以下、メカニズム）としては、両面で不十分である。

この中で、最も改善すべきであり、また、急を要すると考えられるのが、民間（産業界）との連携である。フロンティア人工物分科会としては、日本学術会議の中に産業界との連携を俯瞰的に検討する常設的メカニズムを設置すべきである。そこでは、フロンティア人工物を中心に、国家、社会が今、何を必要としており、また、長期的にどのような開発・運用を行うべきか、そして人材の確保・育成の手法や学界と民間の交流メカニズムについて、より具体的な検討を行うべきである。

続く部分として、（学術界－産業界）連携を政策へ反映すべきであり、〔（産学連携）－官〕連携を行う、系統建てられた実体のある組織を設けるべきである。たとえば、米国においては、NRC (National Research Council) おける check and balance 機能が発揮されている例もあり、また、国内でも、学協会、総合科学技術会議との連携は可能であると考えられる。このことは、フロンティア人工物分野にとどまらず、設計科学分野全体でも普遍的に展開されるべきである。

(2) フロンティア人工物分野における国家「戦略」不在の解消と、その設計科学分野での普遍的な展開

① 技術安全保障、産業・経済、文化の発展から誘導される国家戦略

限られた財政基盤のもとで、我が国が持続可能な科学技術・イノベーション創造立国であり続けるためには、海洋、航空、宇宙等の各フロンティア人工物毎の研究開発投資の「個別の投資のアウトカム目標」だけではなく、それらの社会経済的価値の最大化と我が国の技術安全保障にも貢献する視点に立った「横櫛（くし）的アウトカム目標」も国家戦略に組み入れることが必要である。

また、この「横櫛（くし）的アウトカム目標の設定と実行」を実現するために、関連府省と学術界・産業界との協働の場（例：フロンティア人工物戦略会議）を創設することも必要である。

フロンティア人工物分野は、「社会経済的価値の最大化と我が国の技術安全保障」面での国家戦略と位置づけられるべきであり、これが技術安全保障、産業・経済、文化の発展から誘導される国家戦略にかなっている。これを実現するには、（学术界－産業界）連携をはかる実体のある組織の設置が必要である。

一方で、フロンティア人工物分野としては、新技術に関する社会的許容性について、新たな人工物、ロボットの出現へ、社会的な理解を得ておくべきことが必要である。

② 地球防衛や、エネルギー、環境分野への貢献と持続性確保戦略

フロンティア人工物分野における省エネルギー、環境負荷低減技術の開発は、地球という惑星を未来永劫保持していくための、エネルギー、環境分野への貢献となる。あわせて、持続性確保のために資源枯渇を防ぐ再生可能エネルギー利用技術の開発推進も重要となる。これらの技術開発を支援制度等の充実により国家戦略に組み入れ強力に推進して行くことが提言される。

③ 世界政情の安定化への貢献（技術安全保障と）産業・経済、文化の発展の共存

すでに述べた(2)①の「横櫛（くし）的アウトカムの追及と評価」に、(2)②の戦略も含めた“世界の地政学的問題解決への日本の貢献を機軸としたソフトパワーの発揮（技術安全保障）を強化することを提言する。

その実現にむけて、フロンティア人工物研究開発への国の投資効果の評価に、「技術安全保障と産業・経済、文化の発展の共存」の視点も組み入れることが必要である。

また、これを実施する際に障害となる現行の行政における諸制度の見える化を行うとともに、その打破に向けた制度改革に取り組むことが提言される。

これらはソフトパワーの発揮、および産業・経済、文化の発展をはかる実体のある組織の設置を求めている。

④ 産業・経済への利用・応用への貢献

提言②の実現のため開発された技術は、産業・経済の各分野において利用・応用が可能である。フロンティア人工物分野技術の民間と国との共同開発・運用の先導的活動および行政における規制等の諸制度の合理化・改革を実施すべきである。省エネルギー技術は本質的に経済性に優れており、これらの支援によりフロンティア人工物分野技術の産業・経済への貢献が期待できる。

⑤ 出口戦略の問題点と是正 長期的視点での戦略的推進の欠落がもたらす影響

学术界においても近年、研究に投資した資金を直接的に成果に結びつける効率のよさが重視されはじめている。そのため、研究の目的、方法や成果のみならず、研究成果から得られる経済的な効果や、研究に投資した資金を具体的に回収する方法に重点が置かれた出口戦略が推進されている。一般的に、投資した資金はできるだけ早い回収が望ましいため、出口戦略に基づく研究の成果においては、長くて数年で経済的な

効果のある成果が求められる。そのため、短期的な視点または、これまでの研究の延長にあり成果を上げやすい戦略が立てられやすい。その結果、長期的な視点で研究を進めざるを得ない基礎研究や、経済的な効果を示しにくい革新的な研究の戦略が立てにくくなる。

そこで、第3章(2)の①-④のような、長期的な視点に立った国や世界の目指すべき姿を描き、それを支えるための学術的な戦略をたて、戦略を遂行している過程でたとえ回り道にしても、戦略を変えずに長期的に遂行できる環境を作るべきと考える。そのために、国や世界の目指すべき姿を国民にわかりやすく説明し、それらの深い理解のもとに、強く支持してもらう必要がある。

出口戦略の問題点と是正に向けて、理解と支持をとりつける実体のある組織の設置を提言する。

以上の各点は、フロンティア人工物分野にとどまらない。設計科学分野に共通に普遍的に展開されるべきある。

(3) フロンティア人工物分野における育成・教育のあり方の抜本的な改善と、その設計科学分野での普遍的な展開

① 人材育成一般

人類の活動範囲を拡大し、それを持続させるためには、人材の育成が必須である。

科学技術先進国に共通な課題として少子高齢化がある。また高齢化も人材の減少に直結している。急速な発展を遂げる多様な先端的科学技術を教育し、新たな科学技術イノベーションを達成するための抜本的対策が必要である。

フロンティア人工物に関わる科学・技術においては、特に、俯瞰的能力を持った人材の育成が必須となる。そのためには、個別的でなく、統合化された科学技術システム（例えば、大学における超小型衛星システムの製作と運用など）に対する教育と体験の機会を増やす必要がある。また、理系・文系の交流機会の増大、教育・科学技術・イノベーション政策の三位一体的推進のための産・学・官間の人材交流促進などの施策が必要である。開催した公開シンポジウムでは、人材育成に向けて、アーカイブの充実が要請され、その完備・準備の必要性が顕在化したところである。

② 高度教養教育

フロンティア人工物に関わる科学技術は、地球的な課題を、多様で高度な知識の集約と、先端的科学技術の探究によって解決を図るものである。特に、複雑系の安全への取り組みに代表されるような、近年の課題は、理工学のみならず、人文科学、社会科学に係る広範さと複雑さを備え、そのため、人材養成に関しては、広い素養を備えるとともに、それらの相互作用を分析、理解し、解決策を見出すことのできる能力を涵養しなくてはならない。そしてその実行には、地域や組織を乗り越えた連携が求めら

れる。こうした能力は、自らが他とともに課題や目標および制約を分析し、理解し、さらに能動的に解決に取り組むプロジェクトを繰り返し体験することによって獲得し、定着させるべきものである。そのためには、大学や研究機関においては、従来から行われている分野別の積み上げ式の教育のみならず、分野や経験を超えたプロジェクト型の教育システムを導入すべきであり、その遂行には、大学や研究機関の教育者のみならず、課題を抱え、経験も有する社会人も参加すべきである。さらに、科学技術の変化、課題の変化は急速な勢いで進んでおり、こうした教育は単に学生を対象にするだけではなく、広く社会人が受けられるような制度設計でなければならない。

いわゆる、認識科学/設計科学に関わる観点で、Science for society といった、人文社会科学的な面での推進も強く求められる。

③ アウトプット教育

巨大複雑系社会経済システムと言えるフロンティア人工物を設計（デザイン）し、社会システムの創成を担う人材の育成は、国家的に極めて重要な課題である。その要は、初等・中等教育から高等教育におけるアウトプット教育の強化である。すなわち何を学ぶかの知識習得型教育だけでなく、社会的課題の解決に向けた設計科学の振興に向けた教育再生が今、求められている。

特筆されるべきは、まず、規格や標準などが与えられるのを待つ型のインプット教育、知識習得型教育一辺倒を改めること、すなわち「ルールを待たない」という教育再生の考え方をもつべき点にある。重要であるのは、逆に、規格や標準に先行する新たな社会システムの創成を担える人材を育成するアウトプット教育に再生すべき点にある。アウトプット教育ないしはアクティブラーニング、工学教育、現場へのエンジニアの派遣など、今日の我が国の教育制度では未だ浸透していない方策を投入していくべきであろう。

④ 資金制度の新設

本人材育成に関わる提言を実現させるべく、新たな制度・系統建てられた組織と、拠出型の資金制度の新設を求める。

人文社会科学から理工学にいたる領域を複合させて人材育成を担う、高度教養教育を実践する新しい型の教育・研究機関の新設、拡充が求められる。

大学への進学課程を重視しがちな現行の中高校教育において、実学たる工学を教育する課程の新設・充実が望まれる。とくに、産業界における第一線の技術者を教育現場へ派遣できるための、制度や組織の新設が必要である。

また、授業として知識を入力させ、その完成度を問う減点型教育（インプット教育）の在り方を、主張・見解の発現と討論を展開する加点型（アウトプット教育）の教育へと、改革することを提言する。

これらを実現するために、政府・行政からの経費のみならず、経済・産業界が資金を拠出する形態の新たな資金制度、ないし資金制度を促進する新たな組織の発足を提言する。

以上の各点は、フロンティア人工物分野にとどまらない。設計科学分野に共通に普遍的に展開されるべきである。

4 おわりに

以上、本提言では、2011年に発信された当該分野、フロンティア人工物に係る提言とは一線を画し、学会活動の活動全域にわたる、人文社会科学、医学・薬学、農学、理工学を横断する、認識科学と設計科学を俯瞰し、フロンティア人工物に関わる両輪の活動を展開する目的と必要性を再確認し、併せて、現状が抱える課題を抽出して、改善を求めた。多くの分野別の提言は、自らの活動のみの意義づけに終始するが、本提言は、この点に関して、2011年提言での査読時の指摘をふまえて、全認識科学と全設計科学両面で見直しを行ったものである。これらは、フロンティア人工物分野にとどまらず、設計科学分野に普遍的に展開されるべきである。

提言する解決すべき主眼を、1) 行政と科学技術の距離の短縮、2) 戦略の明確化、3) 人材育成の改革の3つに絞った。いずれもが、我が国の学術、産業、そして人材育成を推進する上で欠くべからざるものであり、早急な対応を求めるものである。

<参考資料 1> 審議経過

平成 27 年

- 2月17日 フロンティア人工物分科会（第1回）
フルデプス潜水船に係る重点およびロードマップでの最近の状況報告
探査技術に係る重点およびロードマップでの最近の状況報告
マスタープラン 2014、ロードマップ 2014 について
シンポジウム開催結果の紹介
23 期での活動、アウトプットについて意見交換
提言改訂に向けての調整
その他
- 4月22日 フロンティア人工物分科会（第2回）
前回議事録の確認
提言改訂の方針
フロンティア分科会シンポジウムの開催について
関連学協会へのシンポと提言改訂に関する協力依頼
学会会議横断的なシンポジウムの開催について
その他

平成 28 年

- 1月20日 フロンティア人工物分科会（第3回）
前回議事録の確認
大型研究提案事前発表会（第一部）
第一部取りまとめ
大型研究提案事前発表会（第二部）
第二部取りまとめ
その他
- 6月27日 フロンティア人工物分科会（第4回）
大型研究計画 提案 状況
提言へのシンポジウムからの反映方法
その他

平成 29 年

- 1月30日 フロンティア人工物分科会（第5回）
前回議事録の確認
シンポジウム結果の要約について
提言へのシンポジウムからの反映について
その他
- 3月30日～4月3日 フロンティア人工物分科会（第6回）メール審議
提言案「人類のフロンティアの拡大と持続性確保を支える設計科学の充

実」について承認

7月28日 日本学術会議幹事会（第249回）

提言「人類のフロンティアの拡大と持続性確保を支える設計科学の充
実」について承認

＜参考資料2＞シンポジウム開催

公開シンポジウム「フロンティアを目指す、サイエンスとアート」

1. 主 催：総合工学委員会・機械工学委員会合同フロンティア人工物分科会
2. 後 援：国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)、株式会社フジテレビジョン、株式会社 TBS テレビ、読売新聞社、株式会社日本経済新聞社、国立研究開発法人海洋研究開発機構(JAMSTEC)、一般財団法人日本航空宇宙学会、一般社団法人共同通信社
3. 日 時：平成 28 年 6 月 27 日 (月)、28 日 (火)
4. 場 所：日本学術会議講堂
5. プログラム：
6月27日(月)
10:00-10:05 開会挨拶 川口淳一郎
10:05-10:15 開催趣旨説明「シンポジウムの目指すもの」川口淳一郎

10:15-11:30 「美とアート」
井川陽次郎(読売新聞論説委員(モデレーター))
松居エリ(デザイン・クリエイター)
木本圭子(CGアーティスト)
久保友香(シンデレラテクノロジー研究者)

要旨：

美は、人類が求める精神的フロンティアの道標である。

アートは、美と訳されるが、人為的な手段、技巧でもある。美を希求することがアートを進化させ、アートの進化はまた、美を新たな高みへと押し上げる。

このメカニズムは、科学においても顕著だ。物理学というアートは万物の理を簡奥なる方程式に帰結させ、しかしそれが時空を超えた思索をも促している。化学や生物学においても然り。化学反応する物質の量が整数比であることが原子論をひらき、やや強引なメンデルの実験は遺伝の法則からゲノム解明への道を築いたのである。人文系でも、カントは理性の整然たる様から「永遠平和のために」を著し、社会学たる経済学においては、近年、ピケティが膨大な統計から「 $r > g$ 」の法則を導出した。

美は学問即ち人類思索の崇高なる果実、フロンティアであり、同時にアートを培う必須の養分でもある。美と思索の不可分なる共振は、情報技術の進歩によって、新たなモードを表出しつつあるだろう。その一断面を美のフロンティア探求者とともに覗いてみたい。

アートたるカオスが生み出す空間芸術とデザインは、感性による美を超えて、それを拡張させる。美を増幅するシンデレラ・テクノロジーは女性のアイデンティティ

とコミュニケーションを補強する。コミュニケーション能力を高めた現代のシンデレラは、技術の充実とは裏腹にコミュニケーションが分断され、時に対立の惨劇を展開する、今日社会の未来を考察する主役となるだろう。

新たな視点を持つアート、奇跡を時に表象するアートこそが、思いもかけない展開を生む。美で夢、ないしはオポチュニティーを実現させたシンデレラの物語は、知の探求に於いても改めて参照されるべき寓話なのである。

11:35-12:50 「アーカイブ論」

天日隆彦（読売新聞論説委員（モデレーター））

立花隆（評論家）

長尾真（国際高等研究所所長、元国立国会図書館館長、元京大総長）

吉見俊哉（東京大学大学院情報学環教授、東京大学副学長）

要旨：

アーカイブとは、過去の記録を収集・保存し公開する場である。それは、次世代を育むための礎を築く手段であり、アートである。

欲しい情報が得られることによる豊かさの実感、新たな科学成果を得るために欠くべからざる手段、活動。それがアーカイブである。どうして今、アーカイブを論ずるべきなのか。

情報技術の進展により、あらゆる記録を収集・保存することが視野に入りつつあるが、そのことは、社会や文化のあり方に大きな変化をもたらそうとしている。

電子メディアは、大きな利便性を提供する一方で、巨大ネット企業による知の序列化や、プライバシー侵害を同時に引き起こしている。

パブリックへの配信手段は、際限なく加速し、その結果として、コミュニケーションの革新が生む弊害すら明らかになってきた。メールアドレスの無限遠までの共有は、無尽蔵のスパム禍をもたらし、明瞭なメッセージの発信は、逆に特定の個人やグループへの攻撃、ヘイトスピーチさえ起こす。SNS、IoTの生む、不慮の世論形成は、まさにグローバルな秩序の崩壊を先導していると言ってもよいだろう。

アーカイブ手段の進歩が、逆に、人間、社会、自然科学の将来、フロンティアへの障害になっているとしたら、それは想定もできなかった副作用だといえよう。

12:55-14:10 「情報技術と生命操作技術の拡大による「人類観」の変容」

神里達博（朝日新聞客員論説委員、千葉大学教授（モデレーター））

北野宏明（ソニーコンピュータサイエンス研究所取締役社長、所長）

伊勢田哲治（京都大学文学部准教授）

要旨：

人間の優位は当面揺るがないと言われた囲碁で、AIが圧勝した。そのことがそのまま人類に対する脅威ということの意味するわけでは無いが、強力な学習機能を持ったAIとグローバルなデータシステムの結合は、多くの判断をAIにアウトソ

ースする社会が迫っていることを示唆する。さらに、IoTの進展により、あらゆるモノがAIの身体機能を担う時代も近づいている。これらは、人類の生活を根本的に変容させる要因になることは間違いないだろう。

一方で、生命操作技術の進展は、人類の身体的な限界を突破させる契機となりつつある。さらにBMIの発展でAIと人間の身体の直接的な結合が進んだ場合、人類の種としてのありようが変容し、これまでの文化や社会の構造が書き換えられていく可能性はないだろうか。このような、人類・AI・ロボットの三者がいわば「共進化」していくようなフロンティアが見えてきたいま、長い歴史のなかで積み上がってきた文化や倫理は、新たな時代にどう継承されていくのだろうか
本セッションでは、ITと生命操作技術が拡大する近未来における、「人類観」の変容をはじめとする、社会的・倫理的課題について、分野横断的な対話を試みるものである。

14:15-15:30 「ロボットは人間に代われるか?～介護と廃炉現場で見たもの」

齋藤泉 (TBS テレビ報道局解説委員 (モデレーター))

浅間一 (東京大学大学院工学系研究科精密工学専攻教授)

入江徹 (オリックス・リビング企画部広報課長)

要旨:

私たちは今、様々な場面でロボットの助けを借りている。本格的なロボット時代が到来したと言っても過言ではない。

特に産官学で進められているのが、介護現場でのロボットの活用である。介護でロボットに肯定的な背景には、科学技術の進歩だけではなく、少子高齢化、労働人口の減少、介護職員の不足、老老介護増加という現実がある。

一方、5年前に起きた福島第一原発の事故でもロボットは重要な役割を担っている。建屋内の桁違いの高い放射線量のために、当面はロボットの力を借りなければ廃炉作業は進まない。原発を作り、その恩恵を受けてきたのは人間だが、事故の後始末はロボットに頼らざるを得ない現実がある。

介護と廃炉の現場でロボットがしていることは、本来は人間がやらなければならないことではないのか。人間はどこまでロボットに頼るのか、人間とロボットの関係やあるべき姿を、今こそ問いたい。

15:35-16:50 「科学と政治、行政の距離」

大牟田透 (朝日新聞論説委員 (モデレーター))

安岡善文 (東京大学名誉教授、外務省科学技術外交推進会議委員 (環境学))

小山田和仁 (政策研究大学院大学科学技術イノベーション政策研究センター
プログラムマネージャー補佐 (政策デザイン領域))

要旨:

地球温暖化やパンデミック、防災などの危機管理的な分野を中心に、科学者の見解や予測等が求められる局面が増えている。科学者の政策への関与はしかし、科学の持つ本質的な不確実性や学問の自由との関係で緊張をはらんでもいる。温暖化論争、福島第一原発事故と情報発信、それ以降の原発と活断層や火山をめぐる議論、地震予知における科学者の役割と責任、病原体のゲノム公表とバイオテロ防止など、学術と政治、行政との関係は、複雑になってきている。

学術は自由な発想で仮定を凝らしつつ、森羅万象の摂理を紐解く活動である。これに対し、政治や行政は国民の安全確保や災害時の被害軽減などに取り組み、そこには権限と同時に責任が発生する。

前者への自然科学の貢献がフロンティアを志向するとすれば、後者は自然科学と社会科学が繰り出す人為的な手段を提供する技法である。両者の立ち位置の共有は非常に難しい。科学と政治、行政との距離について、その現状と課題を論議する。

16:55-18:00 「地球外生物（1）」 「人知は神の摂理(生命)を超えられるか。」

寺門和夫 (科学ジャーナリスト (モデレーター))

木村大治 (京都大学大学院アジア・アフリカ地域研究研究科教授)

高井研 (国立研究開発法人海洋研究開発機構深海・地殻内生物圏研究分野分野長)

要旨：

多くの人々にとって、神の摂理としてしか認識できないような宇宙・地球・生命に潜む現象や法則性は、いまや、人工的に到達しうるフロンティアの一部ともなっている。

理解を超える膨大さ、と考えられてきた人間を含めたあらゆる生命のゲノム情報は、今や普遍的な big data としてアプローチ可能であり、その情報をもとにした医学、また遺伝子・ゲノム工学も進み、iPS による治療など、人間そのものの physical な意味での生命に関わる操作もまさに現実化している。一方では、遺伝子やゲノムを操作することの倫理や、遺伝子・ゲノム情報だけでは、おそらく体系化・理解できない多様な文明・文化が作り出されてきた歴史としての経緯・行動原理がある。我々は、古来においては神の制作物であると信じられてきたが、果たして、ゲノム program によって作られてきた physical な肉体の生命体ということで括られきるのか。文化人類学は、現象論的な解釈に過ぎなかったのか。あるいは、我々の育んできた文明遺産とは、そういう program を肉体という platform 上にて創られた産物(作品)に過ぎなかったのか。人類観が、様変わりしてもおかしくない時代を迎えている。

太陽系が別の太陽系の残骸でできていることを考えれば、人類は、宇宙スケールで分布していてもおかしくはなく、宇宙人類学という言葉もけっして非現実ではない。アストロバイオロジーという研究領域が、現実味を帯び、太陽系での、ないしは太陽系外において、生命への手がかりを模索する時代を迎えている。地球の深海や深

部極限環境は、宇宙とともに、生命の起源に迫れる環境を提供し、ゲノム情報の解読と生命部品の再構成による合成生物学の進展が地球生命の進化やそれとは別にあったかもしれない生命の進化の道筋に関わる情報や原理を具体的に提供し始めてもいる。

人類の来し方行く末さえも、人工的な手段で変わりうるフロンティアであるとなった現代において、そのアートを行使する倫理を、どのように考え、また、あるべき physical な行末、作品の行末をどのように展望していけばよいのか。人知は神の摂理(生命) を超えられるかというフロンティアについて考える。

6月28日(火)

10:00-10:05 「学術会議のフロンティアへの取組み」

向井千秋(日本学術会議副会長・第二部会員、フロンティア人工物分科会委員)

10:05-11:20 「人工知能 自動運転と未来社会」

吉田典之(読売新聞論説委員(モデレーター))

松原仁(公立ほこだて未来大学複雑系知能学科教授)

谷口恒(ZMP 社長)

要旨:

囲碁の世界で、人間界のチャンピオンがコンピューターに敗れるというニュースが踊る。チャンピオンをして「人間の手ではない」と言わせしめた人工知能は、深層学習という技術で自ら大きく進化する段階に入った。文章の作成でも、人間に近いレベルを見せるなど、人工知能は知識や論理では長足の進化を見せる。一方、米国では人工知能が、悪意のある書き込みに影響されてヒトラーを肯定する発言をするなど、善悪の区別や倫理感など、人文科学の面から見るとまだ多くの課題が残されている。

人工知能とは何か、様々な議論がある。自動運転のように、具体的な動作やゴールが達成されると、単なる自動機械の範疇へと引きずり降ろしてしまう、冷めた見方もある。それでも、自動運転に対する期待は、安全な社会の実現、人間との共存など、昔ながらのフロンティアに一步近づく議論の材料を与えてくれる。

人工知能が目指す究極のフロンティアは、人文科学的に述べれば、人間とは何か、の解明であり、社会科学的に述べれば、安全な社会、生活の実現だ。同時に、人工知能は新たなアートを生み出す道具でもあり、人工知能そのものが、人間が作り出すアートでもある。

アートが果たして人類をフロンティアへと導けるのか、あるいはアートがアートを追求するだけの空回りで終わるのか、技術の現状を見つめつつ、議論を行いたい。

11:25-12:40 「文系廃止論騒動」 ～理系偏重か? 文系支配か?～

滝順一（日本経済新聞社編集局経済解説部編集委員（モデレーター））
村上陽一郎（東京大学、国際基督教大学名誉教授）
元村有希子（毎日新聞社編集編成局デジタル報道センター編集委員）

要旨：

突如として切り出されたかのような文系廃止論。学術を構成する、人文・社会科学を否定するかのような議論に戸惑う人も多い。実は、フロンティアは、人間、社会、自然いずれの世界にも存在するものであって、それらを転がす手段としては、文系も理系も、同様なアートを展開する構造を持っている。この議論は、フロンティアに関する議論ではなく、多分にアートの議論なのであって、その中間成果をどの評価軸で見るかだけに過ぎない軽薄な議論と見えなくもない。

文系の方々には政府の施策が理系重視、成果主義、産業競争力重視と映っているが、逆に、理系の方々には日本社会は文系支配（官界、政界、産業界いずれも）、理系は便利な道具扱いという見方がある。道具とは、ある意味での、技巧というアートである。どちらなのか、という分析から、文理を分けてきた日本の教育史、文化史の問題に迫りたい。

13:10-14:25 「イノベーション、科学技術と教育」

鈴木款（株式会社フジテレビジョン解説編集部シニアコメンテーター（モデレーター））
下村博文（自由民主党総裁特別補佐 兼 特命担当副幹事長）
安宅和人（ヤフー株式会社 CSO（チーフストラテジーオフィサー））

要旨：

変革を生む創造こそがイノベーションであり、産業・経済の停滞を打ち破る方策として、いかにイノベーションを生むかが、ことあるたびに政策に掲げられてきた。しかし、イノベーションは、起こせと言って起きるものではない。現代では、インターネットに代表されるように、seeds が突拍子もない変革を産み、ICT で代表されるように、産業・経済を前進させる局面が多い。

イノベーション生む背景は、研究開発たる科学技術に関わる活動にある。その弛まぬ活動が、思いもかけない seeds を生んでいるのである。その活動は、文字通り、人為的な技巧であり、アートそのものである。さらに、それらを支えているのは、人材育成であり、教育システムである。教育とは、予め必要条件を植えつけんとする、これも文字通りに、アートと言ってよい。

これらを一環して行わせるには、イノベーションが教育をドライブする必要がある。確かに、科学技術の成果は、若年層を大いに励まし、そして新たな活動へと向かわせる原動力となる。しかし、イノベーションは、実は、結果であって、技巧、手段ではない。イノベーションを技巧として発生させることは難しい。しかし、この発生を指向しないかぎり、この連鎖を生み出すことはできないのであって、戦略的に「発生」にどのように取り組むのかが、議論されなくてはならない。一つの戦略は、

たとえば宇宙開発などの総合科学技術の発信でもあろう。これを惹起させることは政策である。

14:30-15:45 「アートとしての数学」

辻村達哉（一般社団法人共同通信社論説委員（モデレーター））

合原一幸（東京大学生産技術研究所教授）

伊藤 聡（大学共同利用機関法人情報・システム研究機構統計数理研究所副
所長）

要旨：

数学は、いわゆる自然科学の世界からすれば、「自然」でない科学という面を特徴としている。その世界は、創造のかたまりであり、創られる世界そのものがフロンティアでもある。数学は、物理をひらいたアートであるのと同様に、物理で開拓されたフロンティアそのものでもある。経済学を牽引する一部の集団は、計算科学ないしはサイバネティクスという分野を形成し、社会科学を増進させるアートとして機能している。数値模擬技術の進展は、飛躍的な薬学の発展をもたらした。宇宙探査や情報工学においても、応用数学というアートが、それらを推進する主たるアートを提供している。

このように、数学は、ある面ではアートである。科学技術たる自然科学の世界はもちろん、人文社会科学の世界においても、数学というアートと接触することで、フロンティアが切り開かれてきた。今、どんなフロンティアが数学でひらかれつつあるのか。また、新たな数学自身が形成するフロンティアが展望されるのか。生物の物理、気候変動予測のグランド・チャレンジ、制御工学を例に、また、人文社会科学のフロンティアをひらくアートとしての数学を議論する。

15:50-17:05 「地球外資源」

川口淳一郎（国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所宇宙
飛翔工学研究系教授・シニアフェロー（モデレーター））

青木節子（慶應義塾大学大学院法務研究科教授）

宮本英昭（東京大学総合研究博物館准教授）

要旨：

昨年11月、オバマ大統領は、「商業宇宙打上げ競争力法」という法案に署名した。同法の第4編が「宇宙資源の探査および利用」について規定し、「小惑星または月面で米国籍の個人または企業が発見した資源は、国際法に従う形でその発見者に帰属し、発見者の自由にできる」と定めている。

いわゆる学術研究対象という視点を超えて、この法案が議論され施行されるところに、米国と我が国での、宇宙開発に関する認識の違い、そして捉え方の違いがある。日本では、おそらく、国際合意が先、という思考パターンであろうし、日本は、ルールさえ決めてもらえれば、何でも出来るし、勝てる、と考えるだろう。しかし、

実際には、ルールが決まったときには、すでに手遅れなのである。そこが、宇宙に限らず国際的にリーダーシップをとれない根幹でもある。

資源の利用は、豊かな生活、ないしは、人類が存続するという、sustainability というフロンティアを求める行動である。資源調査は、探査であり、その自然科学的な成果こそが、宇宙資源利用をはかる手段としてのアートを提供する。同様に、探査政策こそが、宇宙資源利用をはかるアートでもある。

宇宙資源の存在や利用性を確認しつつも、イノベーションを起こすために、科学技術と探査政策に求められる視点を、国民性や教育・人材育成の課題にも触れながら、議論したい。

17:10-17:55 「地球外生物（2）」「我々自身が、alien である。～ 進化が起こすメッセージとは？」

観山正見（広島大学学長室特任教授（モデレーター））

斎藤成也（国立遺伝学研究所集団遺伝研究部門教授）

要旨：

地球が宇宙開闢(かいびやく)からの存在でないことは明らかであり、また一方、Kepler 宇宙望遠鏡による観測が明らかにしたことは、” We are not alone” どころか” We are surrounded by ourselves” の時代を迎えているということでもある。太陽系外惑星を実写することもはじまり、太陽系外にバイオマーカーを探し、また、SETI(Search for Extra-Terrestrial Intelligence), CETI(Communication with Extra-Terrestrial Intelligence)も本格化する時代を迎えている。生命地球起源説 vs パンスペルミア説(地球外生命起源説)の議論は、いまや、「われわれ自身が、alien である」という観点にたてば、前者の限界を語る時代になっているとさえ言える。

一方で、現生生物のゲノム塩基配列の解読から、原初の生命体はどのようなすがただったのかにも注目が集まる場所である。原始的生命体にも、彼らなりにコミュニケーション能力があったはずであり、進化とともに、それは多様な変化を遂げた。人類社会でも同様である。コミュニケーションは、閉鎖環境の下では、その形を変え、いじめや弾圧に向かうことすら起こりうる。それが、グローバルな大戦を招き、種の絶滅にもつながりかねない。また、科学技術の進展が、逆に環境やエネルギーの終焉を告げるかもしれない。それが、系外の人類には、先に訪れているかもしれない。その時、彼らは何を発信しようとするだろうか。どのような行動に出るだろうか。

われわれの兄弟たちとの CETI を考えた場合、むこう側の兄弟が行使する手段は、メッセージは、行動は何だろうか。むこうの兄弟も、” We are not alone” と思っているに違いない。行き詰まった社会が、彼らをして、地球と系外「地球」とのコンタクトを行なわせるかもしれない。

手段としてのコミュニケーション能力はアートである。地球、人類の未来像、未

来社会、終末論を展望しつつ、フロンティア、フロンティアとのコミュニケーションを議論する。

17:55-18:00 閉会挨拶 川口淳一郎

6. シンポジウム要約

テーマ	美とアート
提言に盛り込むべき事項	<p>○動機：美への追究探求が科学を発展させる。工学については、美への反発心から人工物が発展し、技術イノベーションが生まれる。</p> <p>○活動の方向性：美は芸術だけでは完成しないものであるから、美を追究する中でフロンティアを開拓していく。その中で美のバランスを取りながら（自然美/人工美、反逆心/好奇心）進めていく。</p> <p>○意義：美とは全てのサイエンスの女王(ダビンチ)（全てのサイエンス）</p> <p>○意義：自然のバランスのみではなく、人工的でもあり、人工物にも美が生まれる。（工学）</p> <p>○意義、活動の方向性：美が、科学技術を変え、社会変革をもたらさう。フロンティアに貢献できる。（理工学、社会科学、フロンティア全般）</p>
その他	<p>アートを狭義で扱って始めているため、人工的の位置付けがあいまいになっていたが、最終的には、アート(人工物)が、社会変革をもたらし、フロンティアを目指すことに貢献すべきと、モデレーターは締め括っている。</p>
テーマ	アーカイブ論
提言に盛り込むべき事項	<p>○フロンティア・デジタルアーカイブの作成：フロンティア人工物の動作環境、システムの紹介、人間との関係などに関するデジタルアーカイブの作成。これにより、専門家から一般市民の啓蒙を行う。</p> <p>○フロンティア・アーカイブ人材の育成：上記の効果的なアーカイブを作る自然科学・システム科学・ヒューマニズムに精通し、デジタルアーカイブを作るソフトウェア技術を有する人材の育成を行う。例えば、Monterey Bay Aquarium Res. Inst. のアーカイブなど面白い。</p> <p>○意義：アーカイブには、それを利用して人文社会科学面(本当は、自然科学面も利用のはずだが、セッションでは、登壇者の顔ぶれから、そういう展開にはなかった)でのフロンティアを開くというサイエンス面と、創るというアート面がある。(全面)</p> <p>○意義：アーカイブで開かれるフロンティアとは、人間の存在、人間が創り出したものをどう考えるか、哲学的な、根本的なおもしろさだ。(自然科学面のおもしろさもあるはずだが) (全面)</p> <p>○方向性：人材育成 (全面)</p>
その他	<p>デジタルアーカイブによるフロンティア人工物に関する、啓蒙、教育、研究サポートシステムを作ることが必要。</p> <p>アーカイブには必要なサイエンスとアートの両面があり、作られるアーカイブ</p>

	で、どういうフロンティアが広がるか、という視点が重要である。サイエンスだけの利用目的だけでできるのではなく、無い物を創るアートがあってこそそのアーカイブである。
テーマ	情報技術と生命技術の拡大による「人類観」の変容
提言に盛り込むべき事項	<p>○人類の限界（人類のフロンティア）：50年後、技術（生命操作技術）と人間はどのような関係を築けているのか。生命操作技術を倫理観で制御することはできるのか。仮に生命操作技術で新しい人種が誕生した場合、肌の色、宗教が違うだけで争い事が絶えない人類は、その技術が産んだ人種と平和的に共存していくだけの知恵を身につけることができるのか？（人文科学）</p> <p>○人間の尊厳（人間の精神のフロンティア）：人間の尊厳とはなにか。生命操作技術によって誕生するかもしれない特殊な”人間”に対して、従来のナチュラルな人間はどのような考えで対応しなければならないのか。（人文科学）</p> <p>○意義：生命科学(サイエンス)とAI、生命操作というアートが、人類を変えていく。そういうフロンティアが起こりうる。功罪もあるだろう。（医学、工学から人文科学）</p> <p>○活動の方向性：変容する人類観は、ある面で脅威だが、人類は多様に適応するだろう。（全面）</p> <p>○活動の方向性：サイエンス、アートの急速な展開には、規制がかけられるべきかもしれない。できないリスクもあるが。（理工学、社会科学）</p> <p>○方向性：人材育成（全面）</p>
その他	<p>情報技術が発達した場合、人類はこれまでの社会構造の変化のように吸収できると思う。しかし、生命操作技術が発達すると、技術的には遺伝子を操作して、これまでのナチュラルな人間とは違う人間を人工的に誕生させることができるようになるという聞いて驚いた。登壇者も言うように、現代の社会では、あらゆる技術に政治的、倫理的な規制はかからないと思う。需要と供給の関係で発達し、普及する。人類は、生命の価値を問い、社会の構造を大きく変化させ個人個人に直接なんらかの影響を及ぼす可能性がある生命操作技術を管理できるのか、人類史上経験したことのない問題に直面する可能性がある。今のところ、どのように対応していけばよいのか不明である。</p> <p>変容しうる人間観が、ここで扱われているフロンティアである。ヒトの根拠は、直感ではないかという議論はおもしろい。生命科学というサイエンスと、AIというアートが、ヒトという生命体を変えていく。そこから生まれる脅威と、ヒトの多様な能力に関する展望が描かれ、フロンティアへの目指し方が議論されている。</p>
テーマ	ロボットは人間に代われるか？ ～介護と廃炉現場で見たもの

<p>提言に盛り込むべき事項</p>	<p>○活動の方向性：燃料デブリ取り出しに向けたロボット技術開発を進めるべき。(理工学)</p> <p>○活動の方向性：介護現場においては、現場のニーズを踏まえた開発が重要。ロボットにより、利用者が気兼ねなく使え、尊厳が保たれ、ハラスメントを防止でき、また介護者にとっては負担を軽減できる可能性がある。(理工学、人文科学)</p> <p>○活動の方向性：人型にこだわらず、真に役立つロボット開発を目指すべき。ロボット＝人型という現状認識を改める必要がある。メディアの意識改革も重要。(理工学)</p> <p>○活動の方向性：ロボットはシステムインテグレーション。現場に応じて最適なソリューションを提案するためには経験が重要。人材育成に力を入れるべき。(理工学)</p> <p>○活動の方向性：ロボット技術の継続的発展のためにはビジネス化が重要。例えば廃炉だけではビジネスにならないので、インフラ点検など多用途に使えるような汎用化、標準化、性能の評価基準の確立などが重要。(理工学)</p> <p>○現状、方向性：介護の行く末たるフロンティアでは、ヒトの尊厳の維持たる人文科学的な面が大きな要素。(医学、工学)</p> <p>○現状、方向性：ともすれば、現場から遊離した技術開発に陥りがちと指摘。(医学、工学)</p> <p>○方向性：原発でも介護でも、結局は、ビジネスで転がらないと進まないし、また社会インフラへ貢献するようでは進まない。インタディシプレナリな取り組みが必要。一面からのアプローチに警鐘。(全面)</p> <p>○方向性：人材育成(全面)</p>
<p>その他</p>	<p>人材育成、ビジネス化が今後我が国のロボット技術向上のカギを握ると思われる。オープンソース化、AI やドローン、自動運転等への相次ぐ大型投資など、ロボット開発を取り巻く環境は急変しつつある。これまでの国主導のプロジェクトではスピードについていけない恐れがある。</p> <p>介護の行く末たるフロンティアでは、ヒトの尊厳の維持たる人文科学的な面が大きな要素である。またそれを開くアートは、ともすれば、現場から遊離した技術開発に陥りがちである。原発でも介護でも、結局は、ビジネスで転がらないと進まないし、また社会インフラへ貢献するようでは進まない。インタディシプレナリな取り組みが必要であり、一面からのアプローチに警鐘を鳴らした。</p>
<p>テーマ</p>	<p>科学と政治・行政の距離</p>

<p>提言に盛り込むべき事項</p>	<p>○地震、原発などの危機管理関連分野で科学者の限界と予測が求められる分野が増えてきた。原発事故における情報発信のあり方や地震予知における科学者の役割と責任など、学術と政治の関係は複雑になっている。学術は自由な発想で森羅万象の真理をひもとく人類のフロンティアを広げている活動であるのに対して、政治・行政は安全確保や被害軽減など権限と同時に責任が発生するものであり、科学の人為的手段を提供するものである。</p> <p>○科学技術と政治・行政の距離を知るためには、同じ土俵にのる必要がある。そのためには共通の課題設定が必要である。また、距離をどう設定するかが問題となるが、課題の解決に向けた行為で距離を設定するべきである。科学技術と政治・行政は互いに近づかなければならない。</p> <p>○科学と政策の関連については、①policy for science と② science for policy という2つの接点がある。①はどのように 科学をすすめるべきかというものである。②は科学的観点から政策的課題について政策決定者にどのようなことが言えるかを示すことであり、最近では地震等の緊急時の提言も重要となっている。科学と政策をつなぐ諸外国の取り組みとして、①政府では、科学アドバイザーや scientists in government が英米等にみられる。②アカデミアでは、助言提言機能の強化や政策課題への関与が米国アカデミーズや英国王立協会においてみられる。③基盤作りでは、信頼構築、相互理解、人材養成がすすめられ、例えば、英豪における科学者と行政官が交流するスキームや米国 AAAS 政策フォーラム等がある。科学的助言や政策関与における課題として、①意思決定者の役割・責任分担（不確実性、不十分な情報の中で誰が責任をとるか）、②既存の行政システムとの摩擦、③科学アドバイザーの支援体制、④アカデミアとのネットワーク、⑤意思決定者との距離感・相性、⑥科学アドバイザー人材の育成、人材プールの確保、⑦政策関与と利益相反、⑧市民・社会の理解・支持、がある。</p> <p>○現状：科学者と行政の距離は近づけていない。科学者を行政官に置く試みは多いが、うまくいっていない。（全面）</p> <p>○方向性：sustainability science というような、インタディシプレナリな科学があるべき。（全面）</p> <p>○現状：科学という個人の活動と、行政という組織の活動の協調が難しくしている要因。（全面）</p>
<p>その他</p>	<p>お互いに win win の関係を築けるかが問題である。</p>
<p>テーマ</p>	<p>地球外生物（1）</p>
<p>提言に盛り込むべき事項</p>	<p>○地球外生命探査：水の存在など過去に生命の可能性を有する惑星（およびその衛星）の探査。</p> <p>生命とは、人間とはという問いかけに新たな視点を与える可能性を有する。</p> <p>○地球外生命探査：新たなサイエンスの創出。</p> <p>ゲノム解析などとの連携研究により生命および生命の概念を越える考え方が生まれるかもしれない。</p>

	<p>○現状、方向性：新たな、生命体、知的生命体との遭遇について、存在形態に関して多様な想定をし、また first contact の方法を想起しようとしている。訪れるフロンティアへの備えでもある。(全面)</p> <p>○方向性：理工学、人文社会科学両面での取り組みが必要。(全面)</p>
その他	<p>生命探査の意義を、単に宇宙科学の観点ではなく、広い視点で強調することが求められる。</p> <p>新たな生命との、ないしは知性との出会いがフロンティアだという想定であれば、それを調べる自然科学と、未知へ遭遇させるというアートが、それを開いていく。遭遇したときの、準備、コミュニケーション方法の模索は、創造そのものである。どのような創造を想定していくべきか、ヒトの行く末とどのように関連するかへの議論が欲しい。</p>
テーマ	人工知能 自動運転と未来社会
提言に盛り込むべき事項	<p>○AI の活用による効果的・効率的なフロンティア拡大：AI を有効に活用することにより、自動運転のようにフロンティアを効果的・効率的に拡大できる可能性が高いため、どのように活用するかについて十分な検討が必要。(理工学)</p> <p>○ニーズに基づく技術開発の重要性：「技術」が出発点ではなく、切実なニーズ（実社会のフロンティアとも言える）に対してどうやって一般の人が手に入れることのできる「技術+サービス」をセットで提供できるかが重要。(全分野)</p> <p>○新しい技術と既存技術の共存の危険性：新技術と既存技術がダブルスタンダードとして存在する際に、安全、倫理などの面での問題を起こしやすい。ただし、それを恐れすぎると新技術は実用化できないので運用面での対処が必要。(全分野)</p> <p>○技術+ニーズを根拠としてフロンティア拡大につながる政策化を促す活動の重要性：切実なニーズをベースとして、それを実現可能な技術とセットにして、政治に訴えかけ、具体的な政策に結びつけることが必要 (Ex. 当初の政府の考えは 2020 年までに自動運転のレベル 3 (人間による監視) の実現だったものをレベル 4 までに進展させた) (社会科学を中心に全分野)</p> <p>○精神的な豊かさへの貢献の重要性：AI には人間を越える創造力や大局観を持つ可能性があるように、実利的な効果だけではなく、精神的な豊かさへ与える効果についても丁寧に考察しながら活動を進める必要がある。(全分野)</p> <p>○AI がシンギュラリティを迎えた時のフロンティア人工物分科会コミュニティの進むべき方向性についての考察：フロンティア人工物分科会コミュニティにおいてもシンギュラリティ問題は避けて通れないため、AI 囲碁ソフト等での人工知能効果の実例も参考に基本的な考え方や対策を検討しておく必要がある。(全分野)</p> <p>○新技術に関する社会的許容性の考慮：AI 等のパラダイムシフトを起こすような新たな技術を社会に定着させるためには、社会的な許容性の十分な考慮や対策が必要。特にフロンティアを拓げる活動においては、この点の重要性がより高い。</p>

	<p>(社会科学を中心に全分野)</p> <p>○現状と方向性：創る工程、アートは、現場のニーズを直視すべきだ。(工学、社会科学)</p> <p>○現状と方向性：自動運転の展開された社会をフロンティアとするならば、そこでは、ヒトとAIの競合が懸念される。それを取り込んだ取り組みが必要。(工学、社会科学)</p> <p>○現状と方向性：いずれは、政策や意思決定にまで。まだ届いていない。意思決定へAIを導入する場合でのリスクや、それを回避しつつ構築する方法は議論されていない。(工学、社会科学)</p>
その他	<p>全体として、「フロンティア」、「アート」に関する認識が共有されておらず(例えば「アート=芸術」という一面的な見方)、主題とのつながりが弱い議論となった。</p> <p>一方、「フロンティア」の観点で、自動運転を含むAIの可能性については、普遍的な情報を含んでいるため、その部分を提言に反映することが望ましい。</p> <p>AI自動運転、アルファ碁の展開から小説など、展開の進展を訴える点が強調された。フロンティアの到来に向けて、サイエンスとアートがどのように取り込まれるべきか、が論点として望ましいが、訪れたときのリスクは多少議論された。</p>
テーマ	文系廃止論騒動
提言に盛り込むべき事項	<p>○意識、活動の方向性：文系と理系の区別／文系理系の対立ではなく、「認識科学(あるものの探求)」と「設計科学(あるべきものの探求)」というような、具体的な整理が必要。(全分野)</p> <p>○活動の方向性：高度教養教育が必要／科学技術の発展に向けて、さまざまな視点に立って考え、実行できる人材が必要である。高い教養を備えた人材育成の仕組みが必要。(全分野)</p> <p>○現状、活動：社会のための科学／社会に貢献する科学(Science for society)が求められている。科学の成果を社会に向けて発信するためには、分野を超えた協働が必要になっている。また、全分野をあげた科学的成果の検証が必須である。(全分野)</p> <p>○現状、方向性：現状は、出口・成果主義が横行。工学以外の、文系科学や自然科学を複合した教育が必要。(全面)</p> <p>○現状、方向性：しかし、初等教育で、工学を教えられる課程が乏しい。導入されてしかるべき。現場教師にそれを託すのは酷。企業などからエンジニアを参加させるとか。ただ、今の教育現場では、免許主義で、エンジニアが教壇に立つのは難しい。(全面)</p> <p>○現状：日本の、教育に関する対GDP比はかなり小さい。(全面)</p>

その他	<p>フロンティア分野（宇宙、海洋、人工知能など）では、「宇宙における生命とは何か」などの真理の探究のために高度技術開発が行われている。また、設計科学の粋を極めると、「人間とは、生命とは、何であろうか」という根源的な問いがある。科学技術の発展は、科学や技術といった分野を超えた議論、そして協働が必要になっている。高度教養教育システムの整備とその柔軟な運用が急務である。たとえば、マルチな視点は、地震津波などの自然災害からの復興などを考える際にも、共通して必要な、コモンセンスである。</p> <p>文系廃止論というより、出口政策への抗議が主である。工学は理工系では陽があたっている。論点は、むしろ、工学が工学だけで教育されるべきではなく、人文社会科学をも含め、サイエンスにも横断的な教育がされることではないか。</p>
テーマ	イノベーション、科学技術と教育
提言に盛り込むべき事項	<p>○アクティブラーニング：クリエイティブな優秀な人材の育成について社会全体が考えていく必要がある。教育を時代のニーズに合ったものへ質的変換する必要がある。画一、均一教育では大きな時代の変化に対応するのに遅すぎる。親の経済状況によらず、教育のチャンスを提供できる環境を整える。</p> <p>○ビッグデータ、AI：日本はコンピュータ・サイエンスに携わる人材が少ない。チャンスを与えれば若者は吸収する。</p> <p>○現状、方向性：個性を伸ばす、創造性を高める教育改革が必要。（全面）</p> <p>○方向性：現場へのエンジニアの派遣などで、イノベーションを担える人材育成を行うべき。他、材料としては、給付型奨学金、ポスドク活用、SSH などの増進などが議論された。（全面）</p> <p>○現状：人材育成（全面）</p>
その他	<p>input 重視の教育から output 教育に転換する必要がある。ビッグデータ、AI 等を活用し、幅広く、主体的な学びができるより多くの機会を持てることが大事に思える。</p> <p>一面で、情報科学、情報工学面の進歩を取り上げているが、セッションの内容は、むしろ教育改革であった。産業社会という単純なモノづくりではなく、情報産業社会という創造的で、人間性を入れた社会をつくる教育が必要である。エンジニアの活用など、教える側の人材活用を図るべきである。</p>
テーマ	アートとしての数学
提言に盛り込むべき事項	<p>○「数学」の利用と応用：「数学」は現在、広く多分野にて利用・応用されている。最先端科学・技術への利用・応用から、身の回りのモノへの利用・応用まで多岐にわたる。これらを実現するには、「数学」的基礎が必要となる一方、如何に”よい問題を提起” するかも重要。</p> <p>○「数学」の普及（理解を深めさせる）：「数学」を広く普及しその理解を深めてもらうには、単に数学力を教え、身に付けさせるだけでは難しい。如何に「数学」に興味を持たせるかが需要である。そのための1つの方法としては、「数学」を学んだ先にある”もの” ”こと” をイメージさせることである。「数学」の利用事</p>

	<p>例、応用事例を具体的に提示することにより興味を沸かせることが効果的。</p> <p>○「数学」教育と「数学者」の人材育成：「数学」教育を見直す方向性は整いつつある。また国・企業（社会）も「数学者」の育成を意識するとともに、その需要を感じている。即応的ではないにしろ、数年スパンの近い将来としては、「数学」「数学者」の教育及び育成は良い方向に変化していくであろう。</p> <p>○意義：人間の豊かな生活が行く末としてのフロンティア。そのためのサイエンスとアートが、数学であり、数理科学、統計数学や、応用数学である。（理工学）</p> <p>○現状：人材育成のおくれ。（理工学）</p>
その他	<p>「数学」はものの理を表現する言語であり文法でもある。「数学」の利用・応用先となる多くの科学、工学、技術は、その普遍性を大原則に、様々な思考・指向により柔軟に解釈されたものでもある。数学の発展、数学教育の改善と数学者の育成は、間接的に、あるいは直接的に、科学、工学、技術の発展に繋がる最重要項目でもある。</p> <p>セッションでは、数学とくに、数理、統計などの応用数学の展開が議論された。フロンティアを目指す部分と、それにどう貢献していくべきかの議論は少なく、応用数学が、どのように理解されてきているかの視点にとどまった。</p>
テーマ	地球外資源
提言に盛り込むべき事項	<p>○動機、現状：米国では民間による宇宙資源獲得を促進するための法案に大統領が署名した。現在の宇宙条約では民間による宇宙資源の獲得に関しては何も記述がなく、解釈によっては公海のアナロジー（資源獲得は早い者勝ち）が適用される可能性がある。日本では法案化は遅れており、米国の法律に日本企業が影響を受ける可能性すらある。日本はルールの制定が先といったような認識があるが、ルールができてからでは手遅れになる場合があり、実際にはルールがないときにどう行動するかが最も重要である。（人文科学、理工学）</p> <p>○意義、現状：太陽系の物質分布は未解明の部分が多い。特に小惑星は数が非常に多く、全てを探索することはできないが、調査がはじまっている。まずはその場利用が現実的。遠い将来、地球に持ち帰ることを考えるならば、近地球型小惑星が重要。平均的なサイズの小惑星を一つ地球に持ってくるだけで、人類がこれまでに生産した鉄・白金族の量に匹敵するほどの資源を獲得できる。（理工学）</p> <p>○意義：サイエンスは知らないことを知らしめる。アートは、無い物を創る。国際法枠組みは、アート。これらを複合して、文字通りフロンティアへ向かい、人類の生活を豊かにしていくフロンティアを目指すべきである。（全面）</p> <p>○現状、方向性：国際法上、どうしても日本人は、枠組みの確立を待ってしまう。フロンティアへ目指す取り組みは、誰も便宜をはかってくれない。（全面）</p>
その他	<p>豊かな生活が、ある意味でのフロンティアである。宇宙資源の利用は、その一翼だ。惑星科学というサイエンスと、宇宙開発というアートの協調を、社会科学である国際法枠組みで支えて展開していくことが期待されている。</p>
テーマ	地球外生物2

提言に盛り込むべき事項	<p>○環境が変われば、偶然のあり方も変わり、知的生命体にたどり着く時間も短くなりえるかもしれない。知的な生命体があるとすると、探査できないようにするとか、エネルギーを全て使ってしまい、探査できないということになる可能性はあるが、エネルギーを拡散しないようにするのは難しい。</p> <p>○方向性：地球外生命体搜索にむけて、天文、宇宙、遺伝学などが協調して取り組む。(医学、理工学)</p>
その他	<p>現状の理解では、太陽系周辺に知的生命体は存在しないと思わせることが強調された。地球外生命体を搜索する、コンタクトをするという時代の到来を前提とする議論があってもよい。それに向けて、天文、宇宙のみならず、遺伝学的な取り組みがどうあるべきか、という議論が求められる。</p>

7. 抽出事項

テーマ	アーカイブ論
提言に盛り込むべき事項	1) フロンティア・デジタルアーカイブの形成：専門家から一般市民の啓蒙。
テーマ	情報技術と生命技術の拡大による「人類観」の変容
提言に盛り込むべき事項	2) 技術も倫理観で制御・管理するべき面がある。技術が産んだ人工物、あるいは精神世界と平和的に共存する知恵を獲得すべき。(人文科学)
テーマ	ロボットは人間に代われるか？ ～介護と廃炉現場で見えたもの
提言に盛り込むべき事項	<p>3) ニーズを踏まえた開発が重要。(理工学、人文科学)</p> <p>4) 人材育成に力を入れるべき。(理工学)</p> <p>5) 汎用化、標準化、性能の評価基準の確立などが重要。(理工学)</p>
テーマ	科学と政治・行政の距離
提言に盛り込むべき事項	<p>6) 科学技術と政治・行政は、同じ土俵にのる必要がある。共通の課題、距離の設定が必要である。科学技術と政治・行政は互いに近づかなければならない。</p> <p>7) 科学的助言と政策のあり方について、諸外国の取り組みを参考に、① policy for science と② science for policy という2つ面で取り組むべきである。</p>
テーマ	人工知能 自動運転と未来社会

提言に盛り込むべき事項	<p>8) AI の活用に十分な検討が必要。(理工学)</p> <p>9) ニーズに基づく技術開発の重要性。(全分野)</p> <p>10) 新しい技術と既存技術の共存の危険性。(全分野)</p> <p>11) 技術+ニーズを根拠としてフロンティア拡大につながる政策化を促す活動の重要性。(社会科学を中心に全分野)</p> <p>12) 精神的な豊かさへの貢献の重要性。(全分野)</p> <p>13) AI がシンギュラリティを迎えた時のフロンティア人工物分科会コミュニティでの対策検討の必要性。(全分野)</p> <p>14) 新技術に関する社会的許容性検討の必要性。(社会科学を中心に全分野)</p>
テーマ	文系廃止論騒動
提言に盛り込むべき事項	<p>15) 「認識科学 (あるものの探求)」と「設計科学 (あるべきものの探求)」の整理が必要。(全分野)</p> <p>16) 活動の方向性：高度教養教育、人材育成が必要。(全分野)</p> <p>17) 社会のための科学/社会に貢献する科学 (Science for society) の必要性。(全分野)</p>
テーマ	イノベーション、科学技術と教育
提言に盛り込むべき事項	18) アクティブラーニング。社会全体が考えていく必要がある。
テーマ	地球外資源
提言に盛り込むべき事項	19) 日本はルール of 制定が先といったような認識があるが、ルールができてからでは手遅れになる場合があり、実際にはルールがないときにどう行動するかが最も重要である。(人文科学、理工学)
テーマ	アーカイブ論
提言に盛り込むべき事項	20) 方向性：人材育成 (全面)
テーマ	情報技術と生命技術の拡大による「人類観」の変容
提言に盛り込むべき事項	<p>21) 活動の方向性：サイエンス、アートの急速な展開には、規制がかけられるべき。(理工学、社会科学)</p> <p>22) 方向性：人材育成 (全面)</p>
テーマ	ロボットは人間に代われるか? ～介護と廃炉現場で見えたもの
提言に盛り込むべき事項	<p>23) 方向性：原発でも介護でも、結局は、ビジネスで転がらないと進まないし、また社会インフラへ貢献するようでは進まない。インタディシプリナリな取り組みが必要。一面からのアプローチに警鐘。(全面)</p> <p>24) 方向性：人材育成 (全面)</p>
テーマ	科学と政治・行政の距離

提言に盛り込むべき事項	25) 方向性：sustainability science というような、インタディシプレナリな科学があるべき。(全面)
テーマ	地球外生物(1)
提言に盛り込むべき事項	26) 方向性：理工学、人文社会科学両面での取り組みが必要。(全面)
テーマ	人工知能 自動運転と未来社会
提言に盛り込むべき事項	27) 現状と方向性：自動運転の展開された社会をフロンティアとするならば、そこでは、ヒトとAI の競合が懸念される。それを取り込んだ取り組みが必要。(工学、社会科学) 28) 現状と方向性：いずれは、政策や意思決定にまで。意思決定へAI を導入する場合でのリスクや、それを回避しつつ構築する方法が議論されるべき。(工学、社会科学)
テーマ	文系廃止論騒動
提言に盛り込むべき事項	29) 現状、方向性：現状は、出口・成果主義が横行。工学以外の、文系科学や自然科学を複合した教育も必要。(全面) 30) 現状、方向性：しかし、初等教育で、工学を教えられる課程が乏しい。導入されてしかるべき。
テーマ	イノベーション、科学技術と教育
提言に盛り込むべき事項	31) 現状、方向性：個性を伸ばす、創造性を高める教育改革が必要。(全面) 32) 方向性：現場へのエンジニアの派遣などで、イノベーションを担える人材育成を行うべき。 33) 現状：人材育成(全面)
テーマ	地球外資源
提言に盛り込むべき事項	34) 意義：サイエンスは知らないことを知らしめる。アートは、無い物を創る。国際法枠組みは、アート。これらを複合して、文字通りフロンティアへ向かい、人類の生活を豊かにしていくフロンティアを目指すべきである。(全面) 35) 現状、方向性：国際法上、どうしても日本人は、枠組みの確立を待つてしまう。フロンティアへ目指す取り組みは、誰も便宜をはかってくれない。(全面)

8. 抽出事項の整理

アーカイブの形成	1	フロンティア・デジタルアーカイブの形成：専門家から一般市民の啓蒙。
----------	---	-----------------------------------

共存性-1 人文社会系と理工学系。異分野	2	技術も倫理観で制御・管理すべき面がある。技術が産んだ人工物、あるいは精神世界と平和的に共存する知恵を獲得すべき。(人文科学)
	12	精神的な豊かさへの貢献の重要性。(全分野)
	14	新技術に関する社会的許容性検討の必要性。(社会科学を中心に全分野)
	21	活動の方向性:サイエンス、アートの急速な展開には、規制がかけられるべき。(理工学、社会科学)
	27	現状と方向性:自動運転の展開された社会をフロンティアとするならば、そこでは、ヒトとAIの競合が懸念される。それを取り込んだ取り組みが必要。(工学、社会科学)
共存性-2 理工学分野の未来との共存	8	AIの活用に十分な検討が必要。(理工学)
	10	新しい技術と既存技術の共存の危険性。(全分野)
	13	AIがシンギュラリティを迎えた時のフロンティア人工物分科会コミュニティでの対策検討の必要性。(全分野)
	28	現状と方向性:いずれは、政策や意思決定にまで。意思決定へAIを導入する場合でのリスクや、それを回避しつつ構築する方法が議論されるべき。(工学、社会科学)
人材育成	4=24	人材育成に力を入れるべき。 (理工学) 方向性:人材育成(全面)
	15	「認識科学(あるものの探求)」と「設計科学(あるべきものの探求)」の整理が必要。(全分野)
	16	活動の方向性:高度教養教育、人材育成が必要。(全分野)
	17	社会のための科学/社会に貢献する科学(Science for society)の必要性。(全分野)
	18	アクティブラーニング。社会全体が考えていく必要がある。
	19=35	日本はルールの制定が先といったような認識があるが、ルールができてからでは手遅れになる場合があり、実際にはルールがないときにどう行動するかが最も重要である。(人文科学、理工学) 現状、方向性:国際法上、どうしても日本人は、枠組みの確立を待つてしまう。フロンティアへ目指す取り

		組みは、誰も便宜をはかってくれない。(全面)
	20	方向性：人材育成(全面)
	(22)	(方向性：人材育成(全面))
	24	方向性：人材育成(全面)
	29	現状、方向性：現状は、出口・成果主義が横行。工学以外の、文系科学や自然科学を複合した教育も必要。(全面)
	30	現状、方向性：しかし、初等教育で、工学を教えられる課程が乏しい。導入されてしかるべき。
	31	現状、方向性：個性を伸ばす、創造性を高める教育改革が必要。(全面)
	32	方向性：現場へのエンジニアの派遣などで、イノベーションを担える人材育成を行うべき。
	(33)	(現状：人材育成(全面))
標準化など	5	汎用化、標準化、性能の評価基準の確立などが重要。(理工学)
技術とニーズをふまえた フロンティア拡大の政策	3	ニーズを踏まえた開発が重要。(理工学、人文科学)
	9	ニーズに基づく技術開発の重要性。(全分野)
	11	技術+ニーズを根拠としてフロンティア拡大につながる政策化を促す活動の重要性。(社会科学を中心に全分野)
	23	方向性：原発でも介護でも、結局は、ビジネスで転がらないと進まないし、また社会インフラへ貢献するようでは進まない。インタディシプレナリな取り組みが必要。一面からのアプローチに警鐘。(全面)
	26	方向性：理工学、人文社会科学両面での取り組みが必要。(全面)
	34	意義：サイエンスは知らないことを知らしめる。アートは、無い物を創る。国際法枠組みは、アート。これらを複合して、文字通りフロンティアへ向かい、人類の生活を豊かしていくフロンティアを目指すべきである。(全面)
科学技術と行政	6	科学技術と政治・行政は、同じ土俵にのる必要がある。共通の課題、距離の設定が必要である。科学技術と政治・行政は互いに近づかなければならない。

	7	科学的助言と政策のあり方について、諸外国の取り組みを参考に、①policy for science と② science for policy という2つ面で取り組むべきである。
	25	方向性：sustainability science というような、インタディシプレナリな科学があるべき。(全面)

<参考資料3>提言 2011

提言『人類の持続性確保に貢献するフロンティア人工物科学技術の推進』は以下 URL よりダウンロード可能。

<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-t130-11.pdf>