

(案)

報告

理学・工学分野における  
科学・夢ロードマップ2014  
(夢ロードマップ2014)



平成26年(2014年) 月 日

日本学術会議

第三部

この報告は、日本学術会議第三部拡大役員会が中心となり、理学・工学系学協会連絡協議会の協力を得て、審議した結果を取りまとめ公表するものである。

### 日本学術会議第三部拡大役員会

|     |        |         |                                     |
|-----|--------|---------|-------------------------------------|
| 部長  | 荒川 泰彦  | (第三部会員) | 東京大学生産技術研究所教授                       |
| 副部長 | 巽 和行   | (第三部会員) | 名古屋大学物質科学国際研究センター特任教授               |
| 幹事  | 相原 博昭  | (第三部会員) | 東京大学理事・副学長、大学院理学系研究科教授              |
| 幹事  | 土井 美和子 | (第三部会員) | 独立行政法人情報通信研究機構監事                    |
| 副会長 | 家 泰弘   | (第三部会員) | 東京大学物性研究所教授                         |
|     | 石川 幹子  | (第三部会員) | 中央大学理工学部教授                          |
|     | 石原 宏   | (第三部会員) | 東京工業大学名誉教授                          |
|     | 伊藤 早苗  | (第三部会員) | 九州大学副学長・応用力学研究所教授                   |
|     | 岸本 喜久雄 | (第三部会員) | 東京工業大学大学院理工学研究科教授                   |
|     | 楠岡 成雄  | (第三部会員) | 東京大学大学院数理科学研究科教授                    |
|     | 栗原 和枝  | (第三部会員) | 東北大学原子分子材料科学高等研究機構教授<br>多元物質科学研究所教授 |
|     | 小長井 誠  | (第三部会員) | 東京工業大学大学院理工学研究科教授                   |
|     | 永原 裕子  | (第三部会員) | 東京大学大学院理学系研究科教授                     |
|     | 西尾 章治郎 | (第三部会員) | 大阪大学大学院情報科学研究科教授                    |
|     | 前田 正史  | (第三部会員) | 東京大学理事・副学長、生産技術研究所教授                |
|     | 和田 章   | (第三部会員) | 東京工業大学名誉教授                          |

### 日本学術会議第三部拡大役員会夢ロードマップ2014 ワーキンググループ

|     |        |         |                                     |
|-----|--------|---------|-------------------------------------|
| 委員長 | 渡辺 美代子 | (第三部会員) | 独立行政法人科学技術振興機構執行役                   |
|     | 石川 幹子  | (第三部会員) | 中央大学理工学部教授                          |
|     | 相原 博昭  | (第三部会員) | 東京大学理事・副学長、大学院理学系研究科教授              |
|     | 安達 淳   | (連携会員)  | 大学共同利用機関法人情報・システム研究機構<br>国立情報学研究所教授 |
|     | 大橋 弘美  | (連携会員)  | 日本電信電話株式会社 NTT フォトニクス研究所部長          |
|     | 新野 秀憲  | (連携会員)  | 東京工業大学精密工学研究所長・教授                   |
|     | 杉原 正顯  | (連携会員)  | 青山学院大学理工学部物理・数理学科教授                 |

|       |         |                                 |
|-------|---------|---------------------------------|
| 中村 正人 | (連携会員)  | 独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所教授       |
| 長井 寿  | (連携会員)  | 独立行政法人物質・材料研究機構ナノ材料科学環境拠点マネージャー |
| 森 初果  | (連携会員)  | 東京大学物性研究所教授                     |
| 依田 照彦 | (第三部会員) | 早稲田大学理工学術院創造理工学部教授              |

報告の作成にあたり、以下の理学・工学系学協会連絡協議会の協力学協会にご協力頂きました。

|            |  |
|------------|--|
| 数理科学分野     | 日本数学会、日本応用数理学会、統計関連学会連合  |
| 物理学分野      | 日本物理学会、日本天文学会  |
| 地球惑星科学分野   | 日本地球惑星科学連合   |
| 情報学分野      | 情報処理学会   |
| 化学分野       | 日本化学会、高分子学会、電気化学会、日本セラミックス協会   |
| 総合工学分野     | 応用物理学会、エネルギー・資源学会、<br>日本航空宇宙学会、日本機械学会、<br>日本シミュレーション学会、日本計算工学会、<br>日本応用数理学会、日本計算数理工学会、可視化情報学会、<br>横断型基幹科学技術研究団体連合、<br>日本バーチャルリアリティ学会、計測自動制御学会、<br>日本原子力学会、サービス学会 |
| 機械工学分野     | 日本機械学会、自動車技術会  |
| 電気電子工学分野   | 電気学会、計測自動制御学会、<br>電子情報通信学会、照明学会、映像情報メディア学会、<br>日本生体医工学会、日本医療情報学会   |
| 土木工学・建築学分野 | 日本建築学会、土木学会、都市住宅学会、<br>日本コンクリート工学会、地盤工学会   |
| 材料工学分野     | 日本金属学会、日本鉄鋼協会、日本材料学会、<br>資源・素材学会、溶接学会、日本鑄造工学会、粉体粉末冶金協会、<br>日本塑性加工学会、高分子学会、日本セラミックス協会、<br>バイオマテリアル学会、軽金属学会、日本 MRS、<br>材料戦略委員会                                     |

本件の作成にあたっては、以下の職員が事務及び調査を担当した。

事務 盛田 謙二 参事官(審議第二担当)

齋田 豊 参事官(審議第二担当)付参事官補佐(2014年8月まで)  
松宮 志麻 参事官(審議第二担当)付参事官補佐(2014年8月から)

調査 辻 明子 上席学術調査員

## 要 旨

### 1 本報告書作成の背景と課題

第 21 期日本学術会議第三部（理学・工学）は、理学・工学系学協会連絡協議会の協力のもと、2011 年 8 月 24 日に「理学・工学分野における科学・夢ロードマップ」（以下、「夢ロードマップ 2011」という）を報告として公表した[1]。これは、2011 年 7 月 7 日に公表された「日本学術会議の機能強化」において科学者コミュニティとしての日本学術会議協力学術研究団体（以下、「学協会」という）との連携の重要性が謳われたことを受け、日本学術会議と学協会との連携を進めた結果であった。この報告は、理学・工学分野が一体となって科学者の夢をロードマップという形にすることを初めて試みたものであり、2010 年 4 月に公表された「日本の展望－理学・工学からの提言－」の図解版ともいえる[2]。「夢ロードマップ 2011」は初めての試みであり、1 年あまりという短期間で仕上げたこともあって、内容の精査が十分でなかったことに加え、様式も十分統一を図ることができなかったこと等の反省がなされた。

また、夢ロードマップ 2011 の公表の 5 ヶ月前に東日本大震災が発生したが、科学者は震災に対して理学・工学の総力を挙げて解決の道を拓くことができなかったという反省が残され、社会における科学者の責任がより大きな課題となった。これと同時に、震災により理学・工学分野の新たな科学技術課題が浮かび上がった。しかし、東日本大震災発生時点では既に夢ロードマップ 2011 の内容はほぼ確定していたため、抜本の見直しができない状況にあった。

第 22 期日本学術会議第三部においては、これらの反省を踏まえ、2011 年に公表した夢ロードマップ 2011 をもとに、内容の精査を行い、東日本大震災で明確になった課題も踏まえて、より充実した「理学・工学分野における科学・夢ロードマップ 2014」（以下、「夢ロードマップ 2014」という）として公表することとした。

### 2 報告作成の方針

夢ロードマップ 2014 の作成にあたっては、以下のことを方針とした。

第 1 は、2011 年に作成した夢ロードマップ 2011 の改訂版とし、夢ロードマップ 2011 を基本とすることである。科学者の夢は 2、3 年の単位で変化するものではなく、長期的視点が基本となる。したがって、3 年前に作成した科学者の夢を基本とし、その見直しを行うこととした。

第 2 は、東日本大震災にて明確となった課題を取り入れることである。夢ロードマップ 2011 では対応できなかったことを反省し、また震災から 3 年が経過し、課題の整理がなされた現時点において、より明確となった課題をしっかりと取り込むことである。

第 3 は、科学者のみならず、社会や国民にわかりやすく示すことである。科学者の夢を科学者間で共有するだけでは、そこに社会的意義を見出すことはできない。社会や国民に

わかりやすく示し、科学者と国民の対話の機会を提供することを目的の1つとしたものである。科学者コミュニティ、研究開発機関、府省のみならず、社会で広く活用されることを期待するものである。

### 3 報告の内容

#### (1) 夢ロードマップ2014の意義

理学・工学分野において、科学者が社会の課題を認識しながら科学者の夢を社会や国民に示すことは、科学者の責務を果たすことであると共に、社会や国民の幅広い理解を得ながら科学者と国民が共に議論する機会を提供するものである。

#### (2) 理学・工学全分野の夢俯瞰マップ

夢ロードマップ2014は、日本学術会議第三部（理学・工学分野）の総意として科学者の夢を図形化したものである。理学・工学全体の将来の夢を1枚の「理学・工学全分野における科学・夢俯瞰マップ」（「夢俯瞰マップ」）として作成し、あらゆる分野の科学者、社会や国民に示すものである。

#### (3) 分野別の夢ロードマップ

理学・工学の11分野（環境学、数理科学、物理学、地球惑星科学、情報学、化学、総合工学、機械工学、電気電子工学、土木工学・建築学、材料工学）において、各分野のビジョンを示し、そのビジョンに基づく科学・夢ロードマップ（「夢ロードマップ」）とその考え方を示す。

## 目 次

|      |                        |     |
|------|------------------------|-----|
| 1    | はじめに                   | 1   |
| 2    | 理学・工学分野全体の夢俯瞰マップ       | 2   |
| 3    | 分野別の夢ロードマップ            | 4   |
| (1)  | 環境学分野                  | 4   |
| ①    | 環境学分野のビジョン             | 4   |
| (2)  | 数理科学分野                 | 8   |
| ①    | 数理科学分野のビジョン            | 8   |
| ②    | 数理科学分野の夢ロードマップの考え方     | 9   |
| (3)  | 物理学分野                  | 14  |
| ①    | 物理学分野のビジョンと夢ロードマップの考え方 | 14  |
| (4)  | 地球惑星科学分野               | 21  |
| ①    | 地球惑星科学分野のビジョン          | 21  |
| ②    | 地球惑星科学分野の夢ロードマップの考え方   | 23  |
| (5)  | 情報学分野                  | 35  |
| ①    | 情報学分野のビジョン             | 35  |
| ②    | 情報学分野の夢ロードマップの考え方      | 37  |
| (6)  | 化学分野                   | 43  |
| ①    | 化学分野のビジョン              | 43  |
| ②    | 化学分野の夢ロードマップの考え方       | 43  |
| (7)  | 総合工学分野                 | 70  |
| ①    | 総合工学分野のビジョン            | 70  |
| ②    | 総合工学分野の夢ロードマップの考え方     | 70  |
| (8)  | 機械工学分野                 | 111 |
| ①    | 機械工学分野のビジョン            | 111 |
| ②    | 機械工学分野の夢ロードマップの考え方     | 112 |
| (9)  | 電気電子工学分野               | 119 |
| ①    | 電気電子工学分野のビジョン          | 119 |
| ②    | 電気電子工学分野の夢ロードマップの考え方   | 119 |
| (10) | 土木工学・建築学分野             | 147 |
| ①    | 土木工学・建築学分野のビジョン        | 147 |
| ②    | 土木工学・建築学分野の夢ロードマップの考え方 | 147 |
| (11) | 材料工学分野                 | 153 |
| ①    | 材料工学分野のビジョン            | 153 |
| ②    | 材料工学分野の夢ロードマップの考え方     | 156 |
| 4    | おわりに                   | 166 |
|      | <参考文献>                 | 167 |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| <参考資料1>審議経過 .....                    | 169 |
| <参考資料2>理学・工学分野における科学・夢俯瞰マップ（技術） .... | 170 |



## 1 はじめに

理学・工学分野において、科学者が社会の課題を認識した上で、将来に向かって夢を社会に示すことは科学者自身の責務であると考えます。またこのことは、社会や国民と共に議論する機会を提供するものであり、重要である。この観点から、第21期日本学術会議第三部は、「理学・工学分野における科学・夢ロードマップ」（以下、「夢ロードマップ2011」という）を2011年7月に報告として公表した[1]。この報告は、理学・工学分野が一体となって科学者の夢をロードマップという形にすることを初めて試みとして意義があった。一方、夢ロードマップ2011の公表の5ヶ月前に東日本大震災が発生し、科学者は震災に対して解決の道を十分拓くことができなかつたという反省が残された。震災により理学・工学分野の新たな科学技術課題も数多く浮かび上がった。しかし、東日本大震災発生時点で既に夢ロードマップ2011の内容はほぼ確定していたため、その時点では見直しを十分図ることはできなかつた。

第22期日本学術会議第三部では、夢ロードマップ2011の重要性を再確認した上で、これの改訂を進め、改めて「理学・工学分野における科学・夢ロードマップ2014」（以下、「夢ロードマップ2014」という）として公表することとした。科学者のビジョンは2、3年の単位で変化するものではなく、長期的視点が基本となるので、夢ロードマップ2011の内容を基本としているが、様式の統一や内容の充実を図った。また、東日本大震災に関しては、3年が経過した現時点において、より明確となった課題を取り込むこととした。

夢ロードマップ2014は、理学・工学の各分野のビジョンと、そのビジョンに基づく科学・夢ロードマップ（以下、「夢ロードマップ」という）から構成されている。また、理学・工学全体の将来の夢を1枚の俯瞰マップとして集約した、「理学・工学全分野における科学・夢俯瞰マップ」（以下、「夢俯瞰マップ」という）も示している。夢ロードマップ2014により、理学・工学の分野を越えた科学者コミュニティにおける学術のビジョンの共有に資することを期待する。また、科学者コミュニティ、府省のみならず社会で広く活用され、科学・技術及び社会の発展に貢献できれば幸いである。

なお、分野別のビジョンや夢ロードマップの記述においては、分野によりボリュームやトーンに差異があるが、これは分野の特性とコミュニティの意思を尊重したためである。

最後に、夢ロードマップ2014を作成するにあたりご尽力頂いた理学・工学系学協会連絡協議会の協力学協会の関係各位に心から感謝の意を表する次第である。

## 2 理学・工学分野全体の夢俯瞰マップ

日本学術会議第三部はその総意として、理学・工学分野全体の夢を1枚に集約し、「夢俯瞰マップ」として表した。これは、理学・工学分野における科学者の夢を、理学・工学に限定しないあらゆる分野の科学者コミュニティ、府省を含む社会全体、及び社会を構成する人々に示すものである。科学者は現状の科学技術課題の解決と共に、常に将来の夢を持ちながら、その夢の実現を目指して研究に取り組んでいる。特に前回の報告（夢ロードマップ2011）から変わった点は、報告準備の最終段階で起こった東日本大震災を踏まえて理学・工学分野が自然と人間生活の関わりに対しさらに理解を深め、自然から受ける様々な災害に対しても予測、防災等で対応していくべきという観点を取り入れたことである。

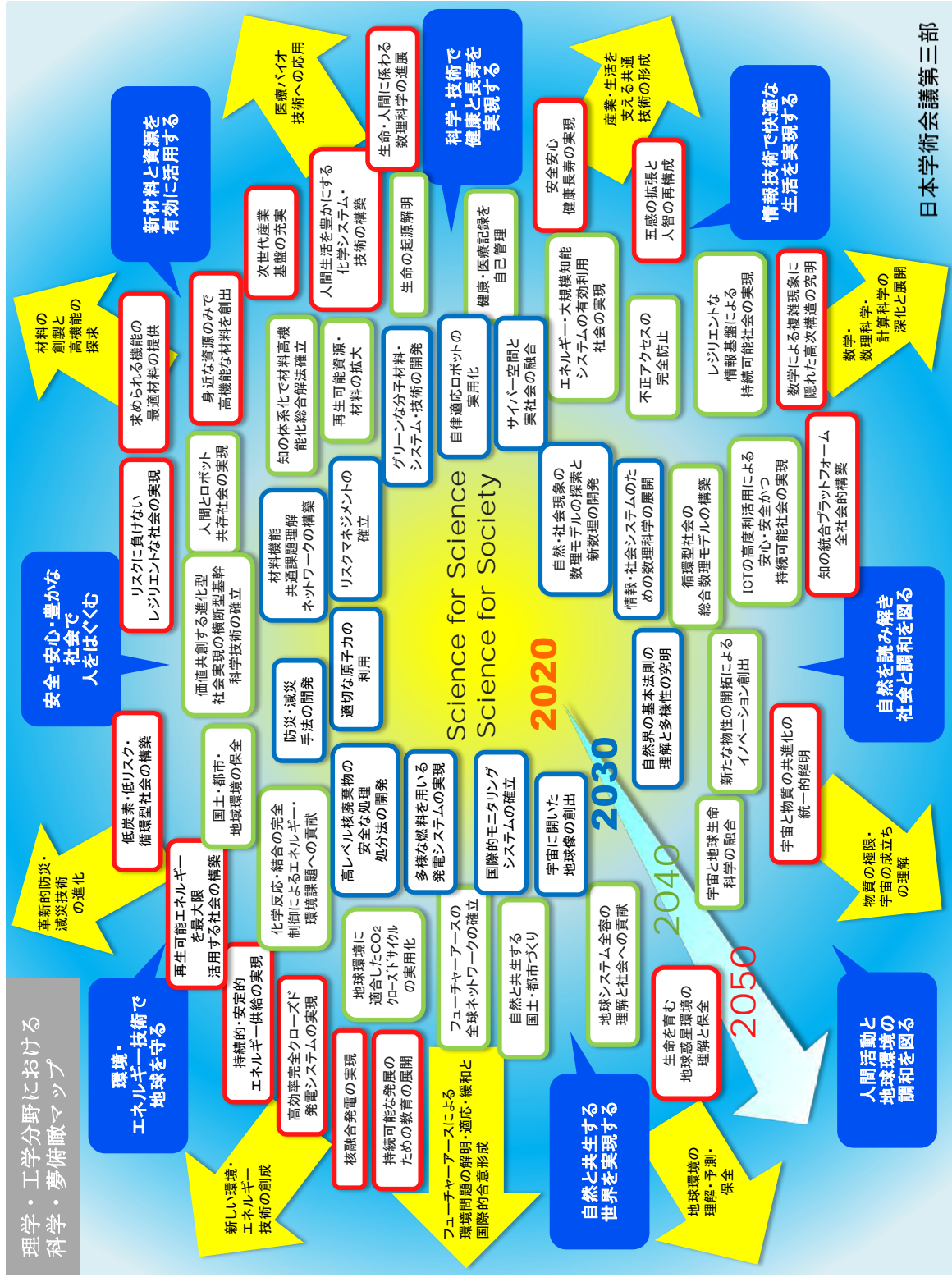
夢俯瞰マップの中心には、現在の日本学術会議の基本方針の1つである「Science for Science, Science for Society」を配置した。現代の科学者が取り組む科学は、科学の発展のための科学であり、また社会のための科学でもある。

夢俯瞰マップにおいて、中心に近い部分には直近の2020年に実現したい夢が示され、中心から遠い周辺部分には、2050年頃の実現を目指した夢が描かれている。現時点から将来に向け、夢が広がることを描いたものである。最も外周部にある青色の枠の中に示された記述は科学・技術の成果が社会において実現される将来像であり、8種類の将来像を示した。黄色矢印の枠の中に示された記述は科学・技術が目指すべき方向を示している。

図の最下部に描かれた目指すべき方向の「数学・数理科学・計算科学の深化と展開」及び「物質の極限・宇宙の成立ちの理解」により、社会における将来像として「自然を読み解き社会と調和を図る」ことが実現されるものと考え、これらが科学の根幹となつてすべての科学・技術を支えるという位置づけを示したものである。右側には、目指すべき方向である「数学・数理科学・計算科学の深化と展開」に加え、「産業・生活を支える共通技術の形成」、「医療バイオ技術への応用」、「材料の創製と高機能の探求」により、社会における将来像の「情報技術で快適な生活を実現する」、「科学・技術で健康と長寿を実現する」、「新材料と資源を有効に活用する」ことが実現されるという夢を示した。左側には、目指すべき方向である「物質の極限・宇宙の成立ちの理解」に加え、「地球環境の理解・予測・保全」、「フューチャーアースによる環境問題の解明・適応・緩和と国際的合意形成」、「新しい環境・エネルギー技術の創成」により、社会における将来像の「人間活動と地球環境の調和を図る」、「自然と共生する世界を実現する」、「環境・エネルギー技術で地球を守る」ことが実現される夢を示した。上部には、目指すべき方向である「革新的防災・減災技術の進化」、「材料の創製と高機能の探求」によって、社会における将来像の「安全・安心・豊かな社会で人をはぐくむ」ことが実現されるという科学者の夢を示している。これは、前述したように東日本大震災を経験した我が国の科学者が痛感している課題に対してそれを克服するため、その成果を夢として描いたものである。

本夢俯瞰マップには科学・技術により実現される夢が示されているが、この夢を実現するための技術の具体像も検討され、これを根拠とした夢を示したものである。それぞれの夢を実現するための技術の具体像は、別途〈参考資料2〉理学・工学分野における科学・夢俯瞰マップ（技術）として掲載した。

理学・工学分野における  
科学・夢俯瞰マップ



□
□
□
□
実現したい夢、実現を目指した夢
科学・技術が
目指すべき方向
科学・技術の成果が
社会において実現される将来像

### 3 分野別の夢ロードマップ<sup>1</sup>

#### (1) 環境学分野

##### ① 環境学分野のビジョン

環境学は、自然と人間活動の相互作用により生じている現象を科学的に解明し、喫緊の環境問題を解決すると共に、将来の潜在的環境問題の発見とその予防に向けた方法論を提示し、新しい技術開発及び社会システムを創造することにより、有限な地球環境の持続的維持を目標とする学問である。

そのためには、

- ・人間と自然の相互作用を理解すると共に
- ・人間と自然の相互作用を持続的、発展的に維持する

ことが必要であり、その学問体系は“対象を知る”ことを主眼とする分析的方法論のみならず、“対象を良くする”、さらには“新たな創造をする”という設計学（デザイン学）としての性格を包含している。

この夢ロードマップは、環境学の対象とする課題、及びそうした研究の構造を明示的に示すと共に、環境問題の解決に至る道筋（ロードマップ）を示したものである。環境学の特色は、国内はもとより国際社会とも協働し、数多くのステークホルダーの参加のもとに、実際に生じている問題の解決に向けて、社会的共通資本の構築と適応策・緩和策を提案することにある。これら環境学の特色としての科学的アプローチと、環境問題の解決に資する社会技術の開発により、自然と人間が共生する持続可能な社会を実現することが環境学の究極の目標である。

以下に、2050年をターゲットとする環境学の具体的ビジョンを示す。

#### ア ビジョン1：低炭素社会の実現と気候変動の安定化

気候変動問題が長期にわたって人類の大きな課題になることは疑いのないところである。現象解明の面では基礎的なプロセスの解明とその基礎となるモニタリングの国際的なシステムを継続して充実させていくことが求められる。一方で、人間側のアクションとして気候変動を緩和するための省エネルギーの技術とシステム、気候変動の影響に対する適応策も強化していかなければならない。これらの緩和策・適応策を強化にあたっては国際的な合意のもとでそれぞれの国が取り組む必要がある。究極的には低炭素社会を実現し、それによって気候変動を安定化させることが目標である。

#### イ ビジョン2：COP10 新世界戦略「自然と共生する世界」

生物多様性条約第10回締約国会議（COP10）で採択された新たな戦略目標（2020年までの具体的な目標である20項目の愛知目標を含む）を国際社会が達成するた

---

<sup>1</sup> 分野別の夢ロードマップは、学協会が主体となって作成したものと、日本学術会議の分野別委員会あるいは分科会が主体となって作成したものがあり、各夢ロードマップにはそれぞれの作成主体が記されている。

めの科学的な基盤として、生物多様性と生態系サービスの指標の開発及びそれらを用いた現状評価及びシナリオに応じた予測手法が必要である。SATOYAMA における人間と自然の共生の原理を探り、科学と参加を旨とする自然再生や伝統的な営みの再生等を通じて実践例を積み重ね、「自然と共生する世界」を構築することが 2050 年までの目標である。

### ウ ビジョン3：安全安心な社会の実現

化学物質や放射能を含めた物質は生活に有用であるが、量や使用方法によっては有害となる。また、ものを作る過程で、意図せず発生する化学物質もある。POPs や PM2.5 のように越境移動する有害物質もある。「自然と共生する持続可能な社会」を最終的に実現するためには、有害な物質を抽出し、その世界的な分布マップを作成し、リスク評価・リスク管理・リスクコミュニケーションの手法を確立して、実施することが必要である。また、これら有害物質が持つ「リスク」をどのように捉えるべきかについての考え方を多くの政策関係者と共有し、その考え方を政策提言や科学コミュニケーションに結び付けることが重要である。これを実現するためには、科学技術と社会の関係をわかりやすく説明できるレギュラトリーサイエンスの専門家を育成し、多くの関係者で共有できる考え方を普及することが望まれる。これらに対して達成目標とそれが実現される年代を設定し、行動することが重要である。

### エ ビジョン4：レジリエントな循環型社会の世界的確立

産業革命以降の社会においてはエネルギーと資源の消費が格段に増加し、人口の増加と相まって環境に対して様々な影響を与えている。典型的な問題である大気・水汚染、廃棄物問題は国によってその状態が様々であり、個別の問題解明が求められる。今後も人口増加が生じる途上国では汚染解決が課題であり続ける一方で、成熟した国ではより高い環境の質を求めることが目標となり、いずれも循環型社会の達成が目指される。一方で災害に対する復元力（レジリエンス）を高めていくことも長期的な課題である。国際的な協力を進めながらこれらの課題を地域や国として解決していくことが目標である。

### オ ビジョン5：流域自然共生居住の実現

人間の居住は環境に影響を与えると同時に環境に依存している。人間居住の集合の場である都市或いは地域の空間規模で問題を捉えることが必要であり、土地の利用形態が最も根本的な問題である。途上国では巨大都市成長に伴う環境劣化が、我が国では人口減少下の都市活動の維持が大きな問題となっている。これら土地と関連の深い人間居住の問題を扱うには、地域が共有する問題を地域が共同して取り組む枠組みである流域圏として問題を捉えることが重要である。それぞれの地域の特性を活かし、豊かな文化的な側面を含みつつ自然と共生する居住を世界的に実現していくことが目標である。

## カ ビジョン6：国際プログラム（Future Earth）の展開

ここまで述べてきた多様な環境の課題は様々な規模を持ちながらも、地球全体の環境の変化と捉えることができ、それら多様な環境の課題に取り組む持続性科学の確立が課題である。Future Earth プログラムはこのような認識のもとに始まった国際的な研究プログラムである。持続性のほとんどの課題は社会の様々なステークホルダーと深い関わりを持つ。様々なステークホルダーと共に研究及び活動を設計、実施し、その成果を分かち合う必要がある。対象となる環境事象は多岐にわたる。まずは我が国としてはアジア地域を中心に取り組みを進め、さらにそれを全球のネットワークに広げていくことが目標である。

## キ ビジョン7：持続可能な発展のための教育の普及（ESD：Education for Sustainable Development）

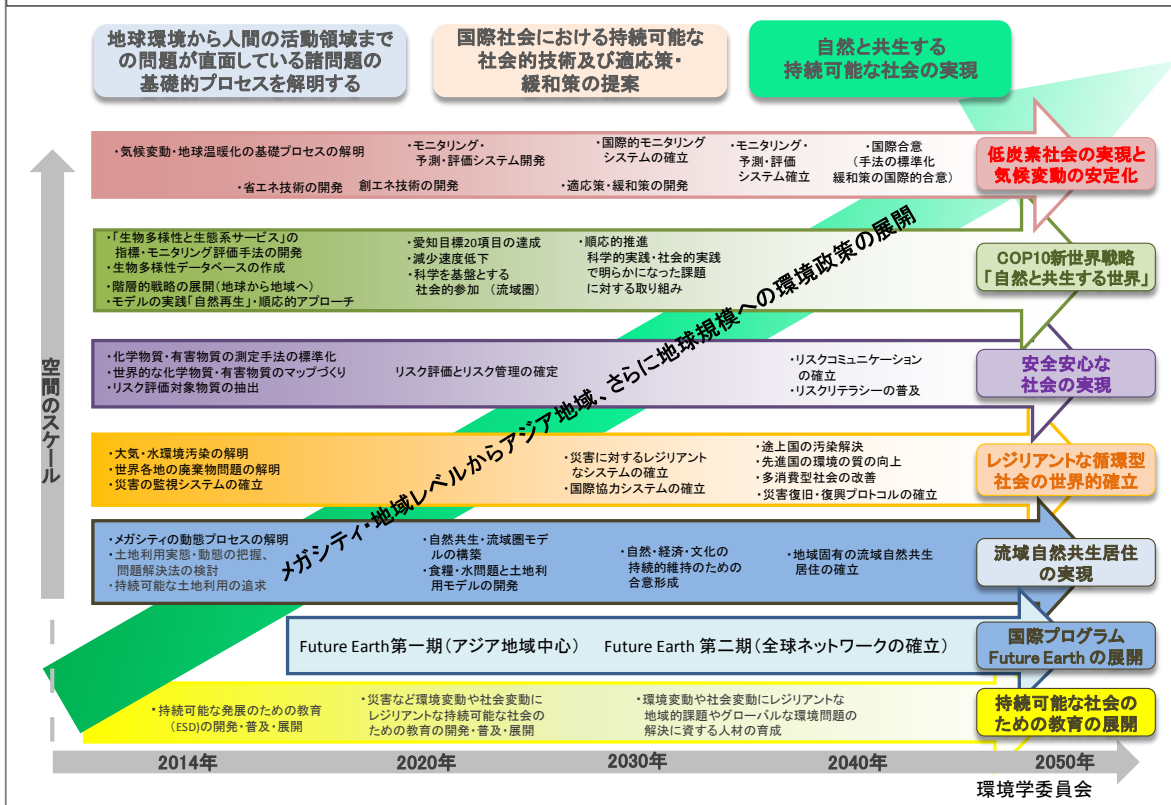
持続可能な社会の実現のためには社会の主たるアクターである人間の行動が極めて重要であり、教育はその基盤形成において長期的かつ継続的な役割を果たす。世界的なイニシアティブである「持続可能な発展のための教育（ESD：Education for Sustainable Development）」を初等中等教育はもとより、高等教育、さらに生涯学習として進めていくことが肝要である。

持続可能な社会は、災害等環境変動や社会変動に対してもレジリエントな社会であり、その基礎となるコミュニティが確立している必要がある。このコミュニティの再構築を目指すためには、内発的な教育が重要であり、防災教育と環境教育の統合や学校教育と地域づくりも含めた社会教育の統合化を推進し、生涯教育の視点に立った形で幅広く進めていくことが必要である。それは地域的課題から地球全体の課題までの射程を有する持続可能な社会のための教育である。その普及、展開によって災害等の環境変動への対応も含めた持続可能性な内発的発展に資する人材を継続的に育てていく。

## ク ビジョン8：環境政策の深化と展開

ここで述べた様々な側面の目標を相互に調和が取れた形で達成するためには、その実現を支える環境政策・環境研究が変化を遂げることが求められる。新たに生じる環境上の課題に対しては絶えざる対応を機動的に採ることが求められる。空間的にも広く、また多数の学術分野にまたがる領域に対して環境政策・環境計画を深化させていくことが必要である。環境政策や計画を立案するにあたっては、ステークホルダーの能動的な参加を得る必要があり、これらの改革を通じて、インタラクティブで総合性・機動性に富む環境政策・環境計画を実現していくことが最終的な目標である。

# 1 環境学分野の夢ロードマップ



## (2) 数理科学分野

### ① 数理科学分野のビジョン

数学・数理科学は長い歴史と豊かな広がりを持つ学問であり、人類の出会い様々な課題を数学的概念として定式化し解析し社会に貢献する。その成果の汎用性は高く、数・自然界の法則のような根本的な理論体系を理解するだけでなく、生命現象、新機能素材、環境問題、エネルギー、食料・水問題等の学際的研究や社会の重要な問題を解決するための研究にも広く応用されており、人類社会の発展に大きく貢献してきた。国の科学技術戦略である第4期科学技術基本計画においても複数の領域に横断的に用いられる科学・技術の研究開発の共通基盤技術として位置づけられ、より一層充実・強化していくことが記載されている[3]。

なお、本ロードマップは、日本数学会、日本応用数理学会と統計関連学会連合との連携のもとで策定を行ったものである。

#### ア 数学から数理科学へ

数学は、古代ギリシア時代より、自然現象や物質の性質を記述する基本的言語として自然科学・工学と互いに影響を与えあいながら発展してきた。20世紀後半に情報技術(IT)が急速に重要性を増すと共に、情報を的確に記述しその中から有用な情報を抽出するための数理、自然現象の方程式では記述できない複雑な社会システムをモデル化するための数理、不確実性を持つ現象をモデル化し解析する数理等が求められるようになった。長い歴史を有する伝統的な数学は、このような新しい刺激を受け、統計数理、数理工学等を含む広い意味での数学、すなわち数理科学として大きく発展し、諸科学の研究における基礎概念を記述する言語の提供や解決の道具を提供する一方で、企業における生産システムの最適化、研究開発の加速、コスト削減に大きく貢献してきた。その後、21世紀に入り数理科学及び関連する分野の進展と共に大規模データをリアルタイムに解析し統計的推測に繋げることや複雑なシステムをより精密にモデル化し予測に繋げることも可能になりつつある。今後は生命現象の解明に繋がる新たな数理の展開が期待されている。将来的には、地球規模の問題を解決しながら人が豊かに生きることを目指し、人間の感性、思考、言語等を取り扱う数理等も開発されるであろう。

#### イ 数理科学の深化

数理科学の発展は社会からの刺激を受けた研究者の自由な発想と創造性がもたらし、知的好奇心・探求心は研究の原動力となって独自の理論や視点を数多く生み出してきた。このような研究プロセスは現代もダイナミックに発展を続けており、高度で多様な問題が提案される度に解決され、そしてまた新たな問題へと繋がっている。数理科学の発展は他の分野と比べると基礎科学であるがゆえに予想しづらく、アイデアが成熟する前に急いで短期的な目標を定めてしまうと飛躍的発展の弊害となることもあるが、その意味するところすら漠とした未踏の課題、例え



ば、高次構造における双対性・対称性、離散構造の新たな数理、無限次元空間の幾何構造、非可換世界観の具体化、非線形現象の解明、複雑系数理モデルによる稀現象の解明、連続体の構造の多角的解明等の概念が定式化されるならば、他の分野ではそれ以前に想像すらできなかった斬新な展開とさらなる深化が数理科学にもたらされるであろう。

## ウ 数理科学の展開

また、社会の課題に応える数理科学への期待が急速に高まっている中、ビッグデータを活用した現象・システムの構造解明、複雑系数理モデルや非線形時系列・複雑ネットワークに関する理論の展開、予測・リスク管理、最適化・制御への応用展開等を通じて、数理科学が諸分野・産業界と直接的で新しい連携関係を創り出している。それと並行する形で、国全体の科学技術イノベーションを加速することにより知識創造立国実現に貢献しようという大きな流れが数理科学に関するコミュニティの連携をさらに深めながら湧き上がっている。数理科学は大きな変革の時期に来ている。

## ② 数理科学分野の夢ロードマップの考え方

### ア 国際研究拠点形成と世界をリードするイノベーション共創の場づくり

このような新たな概念やアイデアを生み出す場として、多様な背景を持つ研究者が一堂に集い、日常的に議論を交わす数学・数理科学の拠点の設置が強く望まれている。実際、諸外国には、短期滞在型・長期滞在型、プロジェクト型、分野融合型、ネットワーク型等訪問研究員を主たるメンバーとする個性的な国際研究拠点があり、最先端研究を生み出している。京都大学数理解析研究所、統計数理研究所は世界を先導する有数の研究所であり、また産業界の要望に応じて九州大学マス・フォア・インダストリ研究所が設立された。しかしながら、これらの研究所は常任研究員が主要メンバーとなっており、今後は時代の要請に機動的に対応して革新的なテーマ及び短期プログラムを設定することができるようにし、また世界中から優秀な頭脳を集結させられる場となる訪問型国際研究所が日本にも不可欠となる。そのような研究所は日本の数理科学大国としての国際的な地位保持と、国際貢献の基盤となるばかりでなく、国全体の科学・技術の基盤強化と戦略分野の牽引役も果たすことが期待される。

### イ セレンディピティを生み出す研究多様性の確保と社会に貢献できる数理科学人材の質的・量的充実

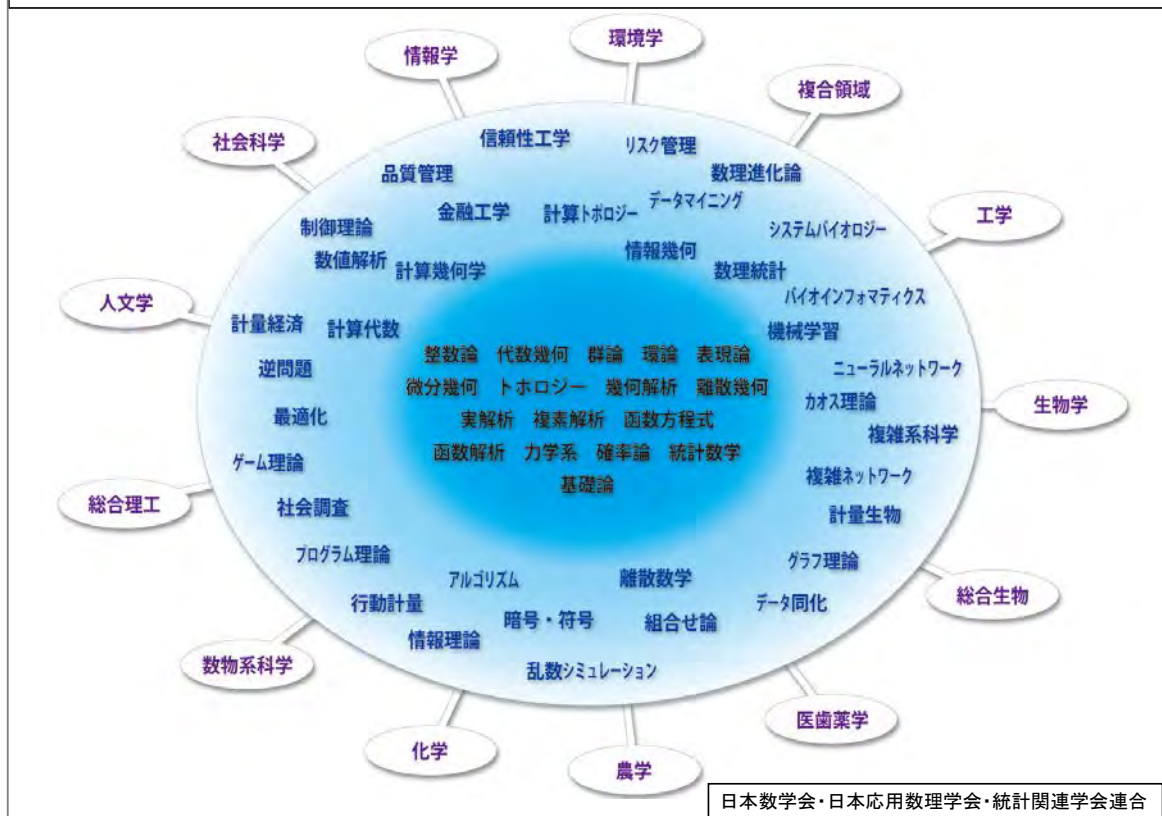
研究の動機には様々なものがある。例えば古代ギリシアの素朴な幾何学の問題が、中世以降に最適な航海術というナビゲータの役割を果たした。その後、19世紀には非ユークリッド幾何学、リーマン幾何学へと発展した結果、それが思いがけなく相対性理論を記述する言語を与え、さらには素粒子理論の数学的基盤構築、宇

宙の構造解明等の様々な科学・技術への応用に結び付いた。このように、数学の理論が創成されてから応用されるまでには長い年月がかかることが一般的である。応用に役立った数学の理論も、必ずしも当初から応用を目的として作られたものではなく、純粋に概念の思考的追求の結果であったことも多い。このため、数理科学の研究の発展のためには、研究の多様性が確保されることが最も重要である。数理科学研究者人材の質的・量的充実、多様な人材育成、国際的地位確保の基盤となる教育研究拠点、自由な思索を担保する連続した研究時間の確保や長期的視野に立った評価、安定的基盤経費の充実、挑戦を奨励する雰囲気醸成等が、思いがけない連想・ブレークスルーを生み飛躍的發展をもたらす。さらに、諸科学や産業技術分野の研究、学際的研究、社会的問題解決のための研究等に積極的に参加する学際的視野を持った数理科学研究者を計画的に増やしていくことが必要である。日本では、数理科学素養を持ち国内及び国際社会で活躍する人材が諸外国に比べ圧倒的に不足していることは様々な機会に指摘されている。数理科学教育の充実は、世界の動向と照らし合わせても、大変緊急性が高い課題である。数理科学が人間の数理、社会システムの数理と発展していくときには、科学者倫理の問題は避けて通れなくなる。数理科学教育と合わせて全人的な教養教育も合わせて行っていく必要がある。

## 2 数理学分野の夢ロードマップ ～新たな展開と深化を目指して～



### 2-1 数理学分野の俯瞰図





## 2-2 科学の本質に挑戦する数理（数学・数理科学の深化）



## 2-3 社会的課題に応える数理（数学・数理科学の展開）



## 2-4 数理科学の更なる発展のための指針

### 長い伝統と豊かな広がりをもつ数学・数理科学の諸分野

- 代数 (整数論・代数幾何・群論・環論・表現論)
- 幾何 (微分幾何・トポロジー・幾何解析・離散幾何)
- 解析 (実解析・複素解析・関数方程式・関数解析・力学系・確率論)
- 基礎論、論理学、アルゴリズム、離散数学
- 数値解析・統計学・最適化・モデリング・データ解析

### 科学・技術・イノベーションの共通基盤

- 社会的課題：生命現象・新機能素材・環境問題・エネルギー・食料・水・健康
- 学際性・汎用性 → 科学の共通言語
  - 大規模データ → 隠れた構造の発見、精度保証された数値計算
  - 複雑なシステム → 抽象化、普遍化による原理の解明  
→ 数学モデル、大局的な視野
  - 不確実性とリスク → 統計モデルに基づく合理的な予測

### 数理科学の発展に大切なこと

- 多様性：**数理科学研究者の質的・量的充実、特に若手研究者の待遇改善とキャリアパス、女性研究者の労働環境の整備、外国人の受け入れ体制の充実
- 国際性：**国際的地位の確保、国際貢献・国際協力、その基盤となる国際的教育研究交流拠点
- 自由な思索：**連続する研究時間、長期的視野に立った評価、安定的基盤経費、挑戦を奨励する雰囲気（開発過程の知見）
- 社会性：**生活の量的・質的豊かさへの貢献と豊かな心をはくむ教育

飛躍的發展・ブレークスルー  
思いがけない連結・連想  
数学・数理科学の深化と展開

### 諸科学・産業界との協働にとって大切なこと

- 協力しやすい体制
- 応用分野や産業界への高い数理科学素養を持つ人材の供給（数理科学教育の充実）
- 新分野開拓に挑戦する次世代育成とキャリアパス、リサーチ・アドミニストレータやコーディネータ諸分野・社会における知的基盤としての数学教育の充実と国際競争力の確保

### 数学・数理科学の発展・応用例

- ピタゴラスの定理 → ユークリッド幾何 → 非ユークリッド幾何 → リーマン幾何学 → 相対性理論 → 時空間の科学・技術
- 魔方陣 → ラテン方格 → 農地利用法 → 標本調査、推測統計学
- 天体や物の運動の研究 → 微分積分 → 現象を記述する基本用語
- 方程式の解法 → 群の発見とガロア理論 → 対称性の記述 → 諸問題の定式化（量子力学、物性科学、産業デザイン設計、社会学...）
- かけの数理（パスカル）→ 確率論・確率解析 → 伊藤の公式 → 金融工学、統計物理、生命現象
- 素数の発見 → フェルマーの定理 → 有限体・楕円曲線 → 符号・暗号理論 → 情報通信の信頼性・安全性確保

日本数学会・日本応用数理学会・統計関連学会連合