

北海道 MONO づくりビジョン2060
—『ものづくり』から『価値づくり』へ—

室蘭工業大学

2019 年 6 月

MONO づくりビジョン 2060 の概要

室蘭工業大学は、北海道における理工学系単科大学として、「創造的な科学技術で夢をかたちに」を基本理念としている。北海道の自然を活かす知識・技術及び情報技術の力を備えた、北海道そして世界の産業を担う人材を育成するため、平成31年度、工学部から理工学部へ学部改組を行った。この度の学部改組を機に、国や北海道が定める計画・戦略の目標の実現に向け、本学がどのように貢献していくか、その役割を明確にするため、「北海道 MONO づくりビジョン2060ー『ものづくり』から『価値づくり』へ」を策定し、本学の研究戦略の基礎とする。本ビジョン策定に当たっては、北海道をはじめとする産業界・経済界・学会などの有識者で構成する賢人会議（議長：元北海道大学総長 丹保憲仁）を設置し、幅広い観点から議論いただきながら策定を進めた。

大きな変革の波は、経済循環も科学技術も約40年から50年周期であることから、本ビジョンでは、40年後、すなわち 2060 年の北海道の姿を本学の研究者が描き、これを本学の理念である科学技術でかたちにしたい「夢」としようと考えた。これは、シンクタンクなどによる未来予想とは異なる視点をもった技術屋が考える将来像である。また、40年後の社会は、現在私たちが利用している化石燃料の資源制約が顕在化し始める時期であるとも認識している。

技術屋が描く 2060 年の世界

ロシアの経済学者コンドラチェフは「景気は周期的に変動し、その要因としてイノベーションが大きな役割をはたしてきた」としている。1800 年以降の景気の周期的な 5 回の変動は

動力源や輸送：[第1波：蒸気機関]→[第2波：鉄道]→[第3波：内燃機関(自動車)]→[第4波：航空、コンピューター]→[第5波：デジタルネットワーク・コミュニケーション技術]

素材：[第1波：繊維・綿]→[第2波：鋼]→[第3波：化学]→[第4, 5波：石油化学]

にもたらされたと整理されている。

このコンドラチェフの波に関わるイノベーションはそれぞれの時代において直面した課題に対する対応策を求める努力、技術開発の積み重ねによって達成されてきたことも忘れてはならない。本ビジョンの策定においても、地球環境問題、化石燃料系の資源制約という人類が直面している課題、ならびに、北海道が直面している人口減少問題への答えを用意することを大前提にしている。その上で、私たちの到達点を明確にする意味で 2060 年の世界を記述しようとしている。

本ビジョンでは、次の波を駆動するイノベーションとして、

- 「情報化した物質・エネルギー技術」
- 「天然もしくは生態化学が駆動する素材」
- 「分子や原子の配列と機能に関する膨大な情報をあやつる、マテリオーム技術」

をとりあげた。そして、2060 年には「厳しいエネルギー制約のもと、物質の高速大量輸送から物質情報の光速大量輸送へ、素材は石油化学から情報・生態化学へと転換している」と想定した。

エネルギーの観点からは、①コストに縛られるエネルギーから付加価値のついたエネルギー、②エネルギーの認証化(ブロックチェーン)、③太陽駆動型エネルギー＋情報による供給、④エネルギーの量(カロリー)から質(エクセルギー)の評価が重要になると考えた。環境・資源管理の観点からは、超長寿命化・自然循環・フロー系素材、ヘルスマインドがキーワードになり、①ストック系素材(無機系素材で機能材と構造材)の域内循環、②フロー系素材(光合成による有機系炭素)の有する機能性の高い化学構造利用の重要性を指摘した。モビリティの観点からは、①ひと・MONO のモビリティの 3 次元化(平面から空間へ)、②Subsonic から

Supersonic/Hypersonic, ③ヒトの精神解放の一つとして、宇宙への興味の高まりと宇宙旅行, ④大量輸送から個別オンデマンド輸送(タケコプター社会)をとりあげた。

北海道を「世界水準の価値創造空間」へ

技術屋が描く 2060 年の世界の姿のもと、北海道総合開発計画に掲げられた「北海道を世界水準の価値創造空間とする」という目標を達成するために次の6つの項目を設定した:

- (1) 北海道をメロポリスと基礎生活圏域からなる新しい自律分散型地域構造とする
- (2) 北海道を付加価値の高い素材の世界への供給基地とする
- (3) 北海道を高品質・高機能食素材の世界への供給基地とする
- (4) 北海道内で物質とエネルギーの自立化と ID 化を目指す
- (5) 北海道を宇宙にむけた基地とする
- (6) 北海道を大いなるテストフィールドとする

室蘭工業大学の北海道の将来への貢献

室蘭工業大学が北海道の将来へ貢献するための戦略として、次の5つの項目を設定した。加えて、これらの北海道に貢献する研究から新たに2つの学術基盤基礎を世界に先駆けて創造することを提案した。

● 自律分散型地域構造構築のための研究

自律分散型地域構造は、20万人～30万人程度の基礎生活圏の人口を、都心部までおおよそ1時間程度の移動時間の範囲に収め、それを高速ネットワークで接続させる国土の時空間構造の提案である。新しいモビリティ技術により、小人口社会であっても交流可能な人口を維持し、自然再生エネルギーの利用拡大を図り、域内消費を均衡させることで、文化的にもエネルギー的にも頑強な地域構造を形成する。これにはモビリティの進化だけではなく、エネルギー技術の進化、これらを結びつける情報技術の進化が必要である。国土空間の中で北海道が果たすべき役割に着目した、データサイエンスと融合した計画支援プラットフォームの構築と、それを用いた戦略的な空間整備技術の研究が重要となる。また、基礎生活圏の機能を維持・管理し、進化させていくためには、情報・エネルギー・物質の全てに精通した高度な「コミュニティ・エンジニア」ともいべき人材の育成を行う必要がある。

● 付加価値の高い素材の供給基地形成のための研究

これまでの本学の実績(高付加価値素材製造の合金配合や熱処理条件最適化と評価法開発、希土類をはじめとする、多様な元素の利用・回収技術の検討)をさらに発展させていく。その一つの例として、超長寿命化を想定したコンポジットマテリアルの開発があげられる。また、北海道を供給基地としていくためには、中小規模の企業群のネットワーク化に必要な技術の平準化を図る方法が用意されねばならない。また、分子・原子配列の制御のためのシミュレーション技術と高度な構造スキャン技術の連携法の開発が必要となる。また、化石燃料系を原料とした石油化学素材は、化石燃料の枯渇・エネルギー構造の転換とともに変化を余儀なくされ、木質系バイオマス等のフロー系素材を出発点とした、カーボンナノファイバーをはじめとする多様な機能性素材の製造フローを形成させる必要がある。すなわち、フロー系素材に対する、接合・成形・分離技術の開発が重要である。

● 高品質・高機能食素材の世界への供給基地形成のための研究

北海道の特徴的な産業である、農業・食品分野に特化した革新的センシング技術の開発と、それを用いた農業・食品分野のマテリオームマップ作成に挑戦することが重要である。具体的には、・食品に含まれる様々な物質の構造と機能を短時間に極めて大量に解析可能な革新的センシング技術の開発、・それらを

活用したビッグデータベースの作成、・膨大な情報から、構造単位と機能単位を抽出するとともに、それらの機能性を維持さらには向上させる栽培、加工、流通技術の社会実装、・様々な物質の相互作用により創生する機能の解析、および新たな機能性物質の予測、デザイン、製造、・これらの情報をまとめたマテリアームマップの農業・食品ドメイン部分の作成、が必要である。

- 物質とエネルギー自立化とID化のための研究

エネルギーの自立化を図るためには、・エネルギーの製造・配分・貯蔵技術と情報技術の結合したシステムと、・高度な省エネルギーシステムの開発が必要である。これらを達成するには、・出力が変動する再生可能エネルギー(VRE)の配分システム、・低質エネルギーの利用技術やカスケード利用技術、・エネルギー貯蔵技術の開発が必要である。また、人工光合成技術の開発により、家庭用・移動体用カーボンレスエネルギーと展開が可能となる。物質の自立化に向けては、北海道内で産出しない物質を用いた「『もの』の製造」→「道内流通」→「利用」→「道内流通」→「破壊」→「道内流通」→「物質の再構成」→「『もの』の製造」のループを作る必要がある。なお、ここでいう「破壊」とは、原子・分子レベルまでの破壊と、一定の機能を有する機能単位までの分解の両者を指す。また、物質の状態を測定するセンシング技術も必要となる。加工・分解の技術開発のゴールはスーパー3次元プリンター、シュレッターというハードと3次元プリンターのインクに相当する多様な素材、ならびに世界標準化された一定の機能を保持する機能単位を作ることにある。素材に関わる技術は、原子・分子スケールでの接着・成形・切断・分解の技術でもある。また、機能を有する素子やパーツのような機能単位については、世界標準規格ともいべき標準化技術とシステム要素としての機能単位を対象とした、接合・成形・分離技術である。物質の自立には、超長寿命化も重要な要素となる。このための技術はライフサイクル設計技術というべきものであり、「もの設計」・「もの破壊」・「物質設計」を総合化した「もの」の一生を設計する技術の開発に進むことになる。このようにして、物質の循環・自立のシステムの情報化と階層化が進み、かつ、社会システムとしての総合化が可能となる。

- 宇宙への基地とするための研究マイルストーン

宇宙へのアクセスは、ロケット技術と有翼の航空技術が高度に発展して実現するものである。また、高頻度での運航を前提とする宇宙観光旅行では、機体そのものの信頼性だけでなく、あらゆるハザードを想定した上で、緊急帰還などの非定常運用も含めた輸送システムの構築が必要である。そして、宇宙輸送系においては、エアブリージング(Ramjet, Scramjet)エンジンや複合サイクルエンジンの開発によりスペースプレーンが実用化され、身近で手軽に宇宙旅行を楽しむ時代となる(宙の移動革命)。2地点間の高速・大量輸送においては、超音速エンジン、軽量・耐熱材料、ソニックブーム低減などの技術革新が必要となる。一方、身近な移動手段については、エアージェアリング+オンデマンドによる“タケコプター社会”の実現に向けた、3次元輸送における多数機運航管理と衝突回避の技術、AIを活用した自律制御や無人機の運行管理システムへと展開するための技術開発が必要となる。

北海道への貢献から創造する学術基盤

- Materi-ome Information Cloud

Materi-ome(マテリアーム)とは、material(物質)とome(総体)を合わせた造語である。gene(遺伝子)とomeの造語であるgenome(ゲノム)に始まり、近年では高校の生物基礎で学ぶbio(生物)とomeの造語であるbiome(バイオーム)がある。人間の生活を取り巻く様々な物質(食物、糞尿、薬、車、飛行機、家、スマホ……etc.)の構造と機能、そして、これらの変化やお互いの関係性を総体として考えるものである。生体系の同化経路に対応するMONOの設計図、異化経路に対応する破壊図を総合化して代謝MAPとい

うべきマテリオームマップを作るものである。マテリオームマップ作成のためには、まずは、様々な物質の構造、状態、機能をできるだけ短時間で解析・情報化するセンシング技術の発展が必須となる。さらに、これらの物質間の相互作用に関する情報を加え、それらを多面的観点から取りまとめるためのデータベースプラットフォームの構築も必要となるだろう。そして、無機・有機素材から各ドメイン（農業、食品、医療、建築、乗り物、電気製品・・・etc.）の製造や利用に関する情報の高解像なマップを作っていくというコンセプトで、多様な研究成果が総合化されていることになる。

● ID 認証

全国民に ID をつけるという営みは多くの国で昔から行われている。デジタル革命と相まって、同じような物が容易に複製でき、また一方で著作権のようにオリジナルを作った人へのリスペクトが求められる今、ID を人だけでなく MONO につけるのは非常に重要である。さらに再利用や活用を効率的にする観点からも ID への期待が高い。これまでの大量消費時代では、多様性は無視され、同じ品質で安価ということが重要視されてきたが、今後はそれぞれの個に適合するモノやサービスが求められる。それを実現するためには人やモノ、エネルギーなどの ID 体系を構築する必要がある。そして、「MONO 設計」・「MONO 破壊」・「物質設計」を総合化した「MONO」の一生の設計を可能としていく必要がある。

以上の北海道の将来に直接貢献する5研究項目、ならびに、世界に先駆けて創生する2つの学術基盤形成は、室蘭工業大学の工学から理工学への教育の展開に対応したものである。すなわち、北海道の資源・資産の本質を解明し、その本質を体系づけ、かつ、それを北海道に活用するものである。

MONO づくりビジョン 2060 目次

1. 趣旨と方法	1
(1-1) ビジョン策定の趣旨	1
(1-2) 「MONO」づくり	1
(1-3) SDG s と MONO づくり	1
(1-4) 北海道開発計画との関連	1
(1-5) ビジョン策定のスタンス	2
2. 技術屋が描く 2060 年の世界	3
(2-1) コンドラチェフの波： 次の波を決めるのは何か？	3
コラムー1 IT と MONO づくり	4
(2-2) エネルギーの視点	4
(2-3) 環境・資源管理の視点	5
コラムー2 2060 年の農家の生活	6
(2-4) モビリティの視点	7
コラムー3 エネルギーに ID がつくと	7
コラムー4 MONO に ID がつくと	8
コラムー5 2060 年の畜産家の生活	8
3. 北海道を「世界水準の価値創造空間」へ	9
(3-1) 北海道をメトロポリスと基礎生活圈域からなる新しい自律分散型地域構造とする	9
(3-2) 北海道を付加価値の高い素材の世界への供給基地とする	11
(3-3) 北海道を高品質・高機能食素材の世界への供給基地とする	12
(3-4) 北海道内で物質とエネルギーの自立化と ID 化を目指す	13
(3-5) 北海道を宇宙にむけた基地とする	15
(3-6) 北海道を大いなるテストフィールドとする	16
4. 室蘭工業大学の北海道の将来への貢献	18
(4-1) 自律分散型地域構造の構築のための研究マイルストーン	18
(4-2) 付加価値の高い素材の供給基地形成のための研究マイルストーン	20
(4-3) 高品質・高機能食素材の世界への供給基地形成のための研究マイルストーン	20
(4-4) 物質とエネルギー自立化と ID 化のための研究マイルストーン	21
(4-5) 宇宙への基地とするための研究マイルストーン	23
(4-6) 北海道への貢献から創造する学術基盤ー1：Materi-ome Information Cloud	24
(4-7) 北海道への貢献から創造する学術基盤ー2：ID 認証	25

1. 趣旨と方法

(1-1) ビジョン策定の趣旨

室蘭工業大学は北海道における理工学系単科大学として、「創造的な科学技術で夢をかたちに」を基本理念としている。そして、「総合的な理工学教育を行い、地域社会、そして国際社会における知の拠点として豊かな社会の発展に貢献する」ことを目指している。室蘭工業大学は、北海道の自然を活かす知識・技術及び情報技術の力を備えた、北海道そして世界の産業を担う人材を育成することを目的に、平成31年4月に工学部から理工学部へと学部改組を行った。本ビジョンは、「かたち」にすべき「夢」を語り、国や北海道が定める計画・戦略の目標の実現に向け、本学の役割を明確にし、本学の研究戦略を策定するためのものである。

(1-2) 「MONO」づくり

本ビジョンは、あくまで「ものづくり」にこだわることにする。それは、従来のハードウェアとしての「物」ではなく、人間が太古の昔から工夫をしながら、毎日の生活を豊かにしてきた「モノ」。情報が「モノ」に働きかけることにより、静的な「モノ」からさらに脱却し、ダイナミックでアダプティブな存在として捉えることにする。すなわち、「もの」の概念をひろげ、「Things」としての「MONO」とする。このような趣旨から、従来の「もの」とは区別して本ビジョンでは「MONO」と記載することとする。

(1-3) SDGsと MONO づくり

2015年9月の国連サミットで採択された持続可能な開発目標(SDGs)は、持続可能な世界を実現するための17のゴール・169のターゲットから構成され、地球上の誰一人として取り残さない(leave no one behind)ことを誓っている*。SDGsは発展途上国のみならず、日本が取り組むユニバーサル(普遍的)なものである。本ビジョンは、将来の北海道におけるSGDs達成への科学技術側からの貢献を示すものでもある。

*外務省 HP:<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/about/index.html>より引用

(1-4) 北海道開発計画との関連

人口減少・高齢化が急速に進む北海道において、その将来像を作る努力が進められてきている。この中では、北海道総合開発計画(平成28年3月29日閣議決定)が策定されている。この北海道開発計画は2050年の将来を見据え、北海道を「世界水準の価値創造空間」とすることを目標としている。また、北海道総合開発計画では、次の3つの目標が掲げられている:

- (1) 人が輝く地域社会;
- (2) 世界に目を向けた産業;
- (3) 強靱で持続可能な国土。

これらの目標のうち、産業に関する目標では、「北海道に強みがあり、地域の経済発展を牽引し得る農林水産業・食関連産業、観光関連産業などの戦略的産業を成長の核とし、グローバルに飛躍する産業として育成するとともに、各地域の特性を活かした産業全般の振興を通じて安定的な所得及び雇用の確保を図る」というように、農林水産業と観光関連産業をはじめとして産業全般の振興がうたわれている。

本ビジョンは、この北海道を「世界水準の価値創造空間」とするための科学技術側からの戦略を提示することを目的としている。

(1-5) ビジョン策定のスタンス

本ビジョンの策定では、北海道開発計画と歩調を合わせ、2060年の長期を見据える。これは、本学の「創造的な科学技術で夢をかたちに」という理念にある、「夢」をまず描き、それを（「夢」）を形にする、すなわち、バックキャスティングすることにはかならない。また、枯渇が予想されている化石燃料について、その資源制約が顕在化始めると予想されている2060年前後を想定することが北海道の将来を考えるのに適切なものと判断される。また、次節の2. 技術屋が描く2060年の世界で述べるように、産業革命以降の景気はほぼ50年周期で変動し、その変動に対してさまざまな技術革新が関与してきているとの考え方（コンドラチェフの波）からも、2060年程度を想定することが適切と考えられる。

本ビジョン策定においては、まず、技術屋が描く2060年の姿を提示する。そして、北海道の「世界水準の価値創造空間にする目標」を達成するために必要な項目を設定する。そして、2060年の姿からバックキャスティングして、技術開発のマイルストーンを提示する。

2. 技術屋が描く 2060 年の世界

(2-1) コンドラチェフの波：次の波を決めるのは何か？

ロシアの経済学者コンドラチェフは「景気は周期的に変動し、その要因としてイノベーションが大きな役割を示してきた」と考えた。この考えに基づき下図のような景気変動とイノベーションの関係が報告されている。

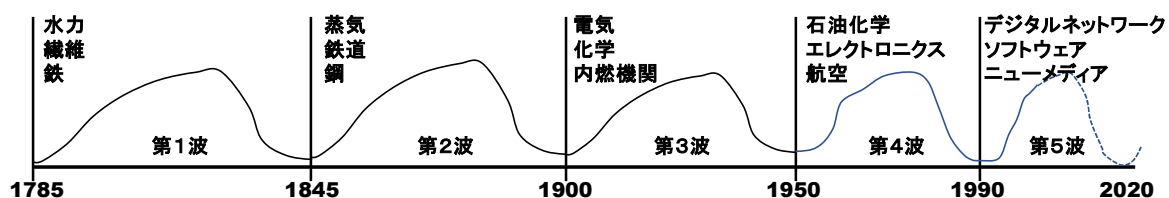


図 2-1 コンドラチェフの波の検討例

(The Economist, Aug 11th, 2014: Innovation in Industry Catch the wave から日本語版を作成)

このようなコンドラチェフの波に関する四つの検討結果を整理すると表のようになる。これらの表から、動力源や輸送に関わるイノベーションを整理してみると

[第1波: 蒸気機関] → [第2波: 鉄道] → [第3波: 内燃機関(自動車)] → [第4波: 航空, コンピューター] →
→ [第5波: デジタルネットワーク・コミュニケーション技術]

というようにみることができる。そして、現在は第5波の中にあり、物質が高速大量輸送され、多量な情報は光速で世界をめぐる。この展開から、次の波を駆動するイノベーションを想定すると、情報技術の更なる展開、すなわち、物質・エネルギーと情報技術の強固に結合した「情報化した物質・エネルギー技術」が次の波を駆動すると考えられる。特に、化石燃料の枯渇の兆候が露わになる 2060 年には、物質をなるべく輸送しないで、物質・エネルギー情報のみが世界を流通することになる。

また、素材に関わるイノベーションは

[第1波: 繊維・綿] → [第2波: 鋼] → [第3波: 化学] → [第4, 5波: 石油化学]

と展開しており、次の波はエネルギー制約のもと、「天然もしくは生態化学が駆動する素材」と、「分子や原子の配列と機能に関する膨大な情報をあやつる、マテリアーム技術」が第6の波を駆動すると想定される。

例えば、3D プリンターの普及とエネルギー制約により、2060 年の物流は大きく変化している。重量の大きな製品などを海外に輸送して差益を得るような貿易は姿を消し、消費地の近くで「もの」が生産されることになる。すなわち、2060年には、厳しいエネルギー制約のもと、物質の高速大量輸送から物質情報の光速輸送に転換し、エネルギー消費がデータ消費に転換していくことになる。また、素材は資源消費型の石油化学から再生可能な情報・生態化学へと転換している。これらの動きの中で、情報の役割は極めて大きくなり、次のような機能の下支えとして活躍することになる：

- 物流、産地などの情報トレース(ものの流れを把握)、情報の信頼性保証、価値の情報化と物質をつなぐ
- 物質の超長寿命化と効率的なリサイクルの実現
- 人の希望とニーズのマッチング最適化
- 低密度社会における効率的かつ高い満足度が得られる社会生活環境の実現
- AI 技術による単純で非創造的な仕事からの解放

このコンドラチェフの波に関わるイノベーションはそれぞれの時代において直面した課題に対する対応策を求める努力、技術開発の積み重ねによって達成されてきたことも忘れてはならない。本ビジョンの策定においても、

地球環境問題、化石燃料系の資源制約という人類が直面している課題、ならびに、北海道が直面している人口減少問題への答えを用意することを大前提にしている。その上で、私たちの到達点を明確にする意味で 2060 年の世界を記述しようとしている。

表 2-1 コンドラチェフの波の整理

	報告—1	報告—2	報告—3	報告—4
第1波	1800—1850 蒸気機関	1780—1830 蒸気機関	1785—1845 水力・繊維・鉄	1800—1850 蒸気機関・綿
第2波	1850—1900 鉄道	1830—1880 鉄道・鋼	1845—1900 蒸気機関・鉄道・鋼	1850—1900 鉄道・鋼
第3波	1900—1950 自動車	1880—1930 電化・化学品	1900—1950 電気・化学品・内燃機関	1900—1950 電気・化学品
第4波	1950—2005 トランジスター	1930—1970 自動車・石油化学	1950—1990 電気・石油化学・航空	1950—2000 自動車・石油化学
第5波		1970—2010 情報、コミュニケーション 技術	1990—2020 デジタルネットワーク・ソ フトウェア・ニューメディア	2000— 情報技術
第6波		2010—20XX 環境技術・ナノテク・ 健康技術		

コラム—1 IT と MONO づくり

トランジスターの発明後、70 年以上に渡り続いてきた IT の世界は、ハード的に見ると単にトランジスターが大規模集積化されて、そこに膨大な情報処理を可能にした世界とみることができる。その飛躍的なハードの技術革新とソフトウェアの進展が今の IT を実現したとも言える。別の言葉で言えばインターネットを中心にしたフラットな世界が出現したとも理解できる。IT の出現により、データベースを用いて、それまで手作業で行っていた仕事がコンピュータを用いて距離や時間を克服することができ、飛躍的に高速に対応できるようになった。それに伴い仕事のやり方も変わり、様々なプロジェクトマネジメントが導入され効率的で便利な世界を享受できるようになったと感じている。

一方、MONO づくりの世界は IT がモジュール化を進める中で、昔ながらの「すり合わせ技術」が多く、なかなか IT の恩恵を受けることができなかった。しかし今、すり合わせ技術の典型的な産業である自動車の世界でも電気自動車の開発をはじめ着実に IT の影響が出てきている。勿論すり合わせ技術においても工場の管理など多くの場面で IT の技術は用いられている。しかしより重要なのは、他のコラムでの述べられているように MONO の ID を導入し、従来の経験と勘で進めてきた慣習を改めていくことであろう。

MONO に IT の世界が入ることはすでに 3D プリンターの世界で実現されている。削りだしの技術を用いて作成していた金属の金型を 3D プリンターで設計データに忠実に作ることができる。精度や耐久性などはまだまだ改良の余地はあるものの、これまでにない取り組みである。ミクロな世界では情報学が物理の世界にメスを入れ、従来の限界を打ち破るような発見が多くされている。特に熱力学第 2 法則を拡張したことは有名である。同じように IT という情報学のファミリーが伝統的な MONO づくりの世界にメスを入れることは大いにありえることである。マクロには従来の経験と勘をデータとして扱い、ミクロにはその ID をベースにサプライチェーンに載せることである。IoT の本質はまさにここにある。環境に対し最適化した形でデータが飛び交い、必要な MONO を各ノードで作り上げる。そこには最適なパラメータが適用され、それぞれに ID で管理される。

(2-2) エネルギーの視点

丹保が指摘しているように(図2-2参照)、原油生産のピークは 2030 年代と予測されている。そして、2060 年代に至ると化石燃料の資源制約が極めて強く認識された社会となり、エネルギーの供給側と利用側で構造的な変化が起こり始めていると考えることができる。エネルギーの供給側では、エネルギー源が化石燃料から、太陽からのエネルギーで駆動される水力、風力、太陽光・熱、やバイオマス、地熱等に移行している。また、供給システムにおいても、高効率・高容量の蓄電池のようなエネルギーの貯蔵システムと情報技術に基づいたエネルギー配送システムが有効に利用されはじめている。エネルギー利用側ではエネルギー消費を削減するための構造的な変化が生じている。上述の「3D プリンタの進化により、世界の貿易の 1/4 がなくなる。消費地の近くで「もの」が生産される」は典型的な例である。また、情報技術との連携により、すべての産業においてエネルギー効率が向上し、低品質エネルギーの有効利用技術の普及とあいまって、エネルギーのカスケード利用が進んでいる。すなわ

ち、情報技術と強固に結合したエネルギー技術がエネルギー制約下での人類活動を支えているといえる。この意味で、「データ消費とエネルギー消費が同価値化した社会」ということができる。徹底したエネルギー消費削減は「もの」の徹底した超長寿命化や「資源循環」ということにも表れてくる。この点については次項で扱うこととする。

このような社会に移行する駆動力の一つとして、地球温暖化ガス排出低減をはじめとする「地球の健康」に対する世界的な世論が大きな役割を果たしてくることは言うまでもない。その意味では、エネルギーは量だけでなく、その質や源にも注意が払われることとなり、量やコストに縛られるエネルギーから付加価値のついたエネルギーへとエネルギー利用者の意識が変化している。そして、エネルギーの認証化が行われている。

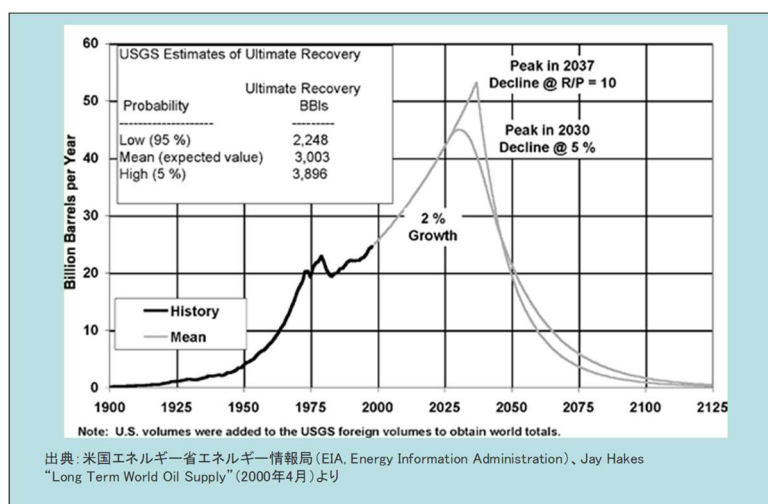


図 2-2 原油生産の長期予想

(丹保憲仁:大変革の21世紀 近代の終焉から後(脱)近代への発進, 公益財団法人はまなす財団, 2018年3月. 図42より引用)

(2-3)環境・資源管理の視点

エネルギー管理の視点で述べた「地球の健康」というべき考えは、エネルギーだけでなく、多様な資源管理にも生かされている。エネルギー制約により、世界規模の大量輸送は現実的ではない社会となり、なるべく資源を消費しない生き方が普及している。すなわち、資源管理的視点からは、社会で使用するインフラや個人が使用する多様な「MONO」の超長寿命化と徹底した高効率の循環利用の普及が進んでいるといえる。ただし、循環利用には常にエネルギー消費が伴うため、まずは超長寿命化が優先実行され、その上で循環利用が行われるという形である。

我々が使用している素材はフロー系素材とストック系素材とに大別することができる。フロー系素材とは、大気中の二酸化炭素を原料として光合成により作られる有機系炭素化合物を指す。一般的には「バイオマス」という言葉で呼ばれているものである。この「バイオマス」は地球上では太陽光により常に合成され、微生物をはじめとする地球上の食物連鎖による生化学的反応や燃焼のような化学反応でもとの二酸化炭素に戻るプロセスを通して循環しており、ここではフロー系素材と呼ぶことにする。一方、ストック系素材は無機系素材であり、人類が利用していない地下資源等も含めて考えると、その地球上での総量は一定のものである。我々はストック系の素材を機能材(半導体のようなその構造により得られる有用な役割を利用しているもの)と構造物材(コンクリートや鉄のように、構造物の強度を得るために利用しているもの)として利用している。

このストック系素材は産地が限られていることが特徴である。そのため、2060年には、エネルギー制約からストック系素材を世界規模で輸送することは大変難しくなっており、まずは超長寿命化が図られていることになる。そし

て、寿命を迎えたものは、高エネルギー効率のプロセスで、かつ、小さな領域内での循環が行われている。また、分子や原子の配列と機能に関する膨大な情報、これらの物質の製造方法・破壊方法に関する膨大な情報が蓄積されており、情報技術が高い価値を有する機能性材料の合成・破壊・循環方法を支えている。このような高い機能性を有する素材が広域に輸送されることになる。

天然もしくは生態化学が駆動するフロー系素材をベースにしたものづくりが現在の石油化学系ものづくりにとって代わっている。すなわち、光合成によって作られた有機化合物(系炭素)は多様な分子化学構造を有しており、この化学構造の機能性に関する知見が蓄積され、その構造の抽出技術とともに、多様な機能性の高い素材や食品が生産されている。

コラムー2 2060 年の農家の生活

2060 年になると農家を含めた農業従事者の働き方、生活スタイルも 2019 年現在とは大きく変わっているはず。農園は大規模化、システム化され、現在の家族経営主体の農業から、複数人の社員により運営される野菜工場のような形態になると考えられます。システム化された農園では、AI やロボット、各種センサーをフル活用した自動化が進み、徹底した省力化、コスト削減が図られる一方、労働従事者の「満足度(幸福度)」が今以上に重要視された働き方が実現されているでしょう。

2060 年における農業従事者の暮らしぶりをより具体的にイメージするため、我々の思い描くビジョンに基づき想像したモデルケースの仕事内容、生活について紹介したいと思います。ここでは、30 代既婚の農園で働く共働き男性をモデルとして、農業先進国と言われるオランダの農業生産状況を参考に 2060 年の姿を想像しました。

2060 年の道内では、25ha を超える規模の大規模農園が農業の主流となっており、彼が働く農園も同規模の大規模施設栽培を行っています。この規模の農園では、通常約 10 人の社員と 20 名ほどのアルバイトにより運営されており、トマトやキュウリなどの野菜を主力商品として、栽培から選果、パッキング、販売先への輸送までも一括で行っています。彼の農園は、年間売り上げが 2 億円、計上利益率 10% 強を実現しており、30 代半ばの彼の年収は約 550 万であり同年代の他業種平均給与を超えています。

とある彼の 1 日の仕事内容をまとめたものを表に示します。この表からも分かる通り、いわゆる畑仕事と呼ばれる農作業中心ではなく、環境制御コンピュータの設定・操作、収量予測、アルバイトの就労スケジュールの管理、販売先とのやりとりといった農園の運用全般に関わる幅広い業務を、彼は担当しています。彼の働く農園では、AI やロボット、各種センサー技術が積極的に導入されており、単純な肉体的負担の重い労働の多くからは解放される一方、最新の栽培ノウハウ、栽培のための最新機器の調査や導入、さらには市場ニーズの調査、分析に基づく栽培戦略の策定といった農園経営の重要な部分に関わる業務内容が求められます。農園としても従事者の労働環境に対する満足度が強く意識されており、正確な栽培スケジュールと予測に基づく農園の運用により残業のない働き方となります。そのため、彼の勤務時間は朝 9 時から夕方 5 時までとほぼ決まっており、終業後には子供の保育園・幼稚園への迎え、夕食の準備など子育てや家事を担うことが十分可能な、仕事とプライベートが両立しやすい働き方となっています。

表：農園におけるとある 1 日の業務内容と生活イメージ

時間	業務内容
9-10 時	販売先、契約するコンサルティング会社からのメールチェック
10-12 時	現在の生育状況、今後の天気などを踏まえた今後 1-2 週間の栽培スケジュール、収量予測。それに基づく制御機器の設定
13 時-15 時	アルバイト従事者の指導を含めた現場のチェック
15 時-17 時	販売先との折衝、肥料など栽培に必要なものの発注
生活イメージ	
仕事	新たな農業＋地域に根付いたオリジナルブランド・3D プリンターでは難しい「生物・食」の生産
衣料	新たな手作り・デザイン(画一ファッション→趣味性はより残る)→新たな生業・副業(多彩な仕事)
食	適切な生育管理システムの利用、自宅生産
住	リサイクル等の素材を用いた 3D プリンター住宅、自然素材(北海道・地域らしさ)+新素材・技術すぐに移住可能、移動可能
趣味	新しいスノースポーツ、自然関連スポーツ →実体験を重要視した活動
医療・福祉	自宅での遠隔医療
非日常	自然型生活＋バーチャルでは価値を見出せない体験：メトロポリスの美術館、スポーツ観戦、買い物＝新たなモビリティ活用

(2-4) モビリティの視点

2060 年には、自動運転はすでに普及しており、主要なモビリティは平面から空間へと 3 次元化が進んでいる。これは、平面上の道路等のネットワークを維持することよりは、3 次元化により点と点を結ぶインフラに多くの資産が投入されてきたことによる。また、物・サービス・場所などを多くの人と共有・交換して利用するシェアリングエコノミーのコンセプトがモビリティの中にも生かされており、3 次元移動手段の自動運転化とあわせて、個別のオンデマンド移動が確保されている。物流も同じように、大量高速輸送から個別のオンデマンド輸送に代わっている。

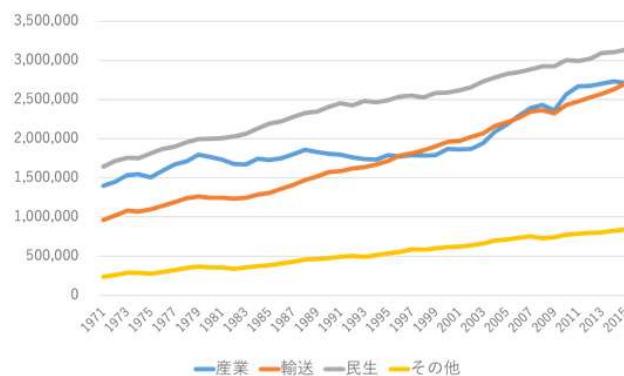
忘れてはならないのは、宇宙に対する興味である。ヒトの好奇心を満たす活動もしくはヒトの精神解放の一つとして、地球外への旅行、冒険は重要な活動となっている。宇宙空間を用いたエンターテインメントや大気圏外への旅行などが行われている。

コラムー3 エネルギーに ID がつくと

現代社会は大量エネルギー消費をベースに成り立っていると言える。特に先進諸国におけるエネルギー消費は中国を筆頭に、アメリカ、OECD+日本でそれぞれ 20% づつ位の割合で日々莫大なエネルギーを消費しながら成り立っているのである。

我々北海道民が思い知らされたのは、2018 年 9 月に起こった北海道胆振東部地震だ。地震そのものの被害も甚大であったが、それをトリガーに道内の半分の供給を行っていた苫小牧火力第 4 号機が発電を停止し、全道すべての地域で長いところでは丸 3 日間電気のない生活を強いられたことは記憶に新しい。

このようにエネルギーは生活に不可欠であることは誰もが認識していることだが、その発電にまで目を向けている人は少ない。環境に優しいと言われて、急速に伸びているソーラー発電や風力発電、地熱発電などはその不安定さからなかなか浸透していない。また大量にエネルギーを使っている代表格である自動車でも従来のガソリンや軽油から電気、水素など新しいエネルギー源を模索中である。全体では産業が時の景気に大きく影響されているが、民生用と輸送用の消費が単調に増加している。輸送用の消費は現在は産業用と同じレベルにまで増加している(資源エネルギー省調べ)



車の場合はユーザーが意識的にそのエネルギー源を選択することができているが、家庭や企業の電気エネルギーはどうやって発電されたものかは意識されていない。一部契約によって「グリーンエネルギーを使っています」と宣伝する場合もあるが、本当にそこで使っている電気が例えば室蘭の風力発電所で作られたものかどうかは判別できない。電気は十分な蓄電システムがないため、ほとんどは発電と同時に消費されるという性格を持つためである。

一旦電気自動車のように蓄電池に蓄えられたものであれば、そのエネルギーの由来を ID で管理することはできそうである。リアルタイムで流れている電気に ID を付けるというのはどういうことであろうか。これはサイバーフィジカルの世界である。例えば苫小牧第 4 号機で 2019 年 5 月 7 日の 13:53 に発電された 100kWh(チェック!)のエネルギーには、それが化石燃料である石油から作成されたエネルギーという ID を振り、値段をつける。同時に CO₂ 発生に伴うコストも ID に紐づける。例えば

ERID:100kw.PETRO.Tomakomai4.Y27.C120.201905031353

といったようにその瞬間に発生したエネルギーのメタデータを記述するのである。またさらに進んでブロックチェーンで ID を管理していくということも可能である。

このように ID で「色づけられた」エネルギーは消費する人が ID を指定して使うという仕組みを考えたい。通常のオークションでは価格だけが重要視され、メタデータの価格だけ安いものを使われそうであるが、CO₂ の環境負荷も含めた価格体系を作るとともに、完全な電力自由化の中で、例えば北海道の人が四国の風力発電の ID 付き電気を使うということも想定される。さらに電池の技術が進むにつれ、各地域で発電したものをその近くで消費することも可能となる。電気は遠くから送電すると、どうしても送電ロス(近年は 5%程度にまで下がってはいるが)が起こる。

このように電気そのものに ID を付けることにより、環境負荷も含めた健全な競争原理を導入でき、不安定な発電であるソーラーや風力による発電も使いこなせるような市場を形成するができよう。

コラムー4 MONO に ID がつくと

エネルギーに ID がつくイメージを既に述べたが、ここでは MONO に ID がつくイメージを考えてみよう。現在は中国を中心とする大量で安価な商品が作られ、それを大量消費する時代が続いている。大量に同じものが生産されても、家電製品をはじめ、多くの高価なものにはシリアル番号が付与されメンテナンスなどに使われている。またネットワーク機器には MAC アドレスという固有の ID 体系が導入されており、ネットワーク接続の基本の ID になっている。これらはいずれも、基本設計図面があり、それに基づく部品を作成し、それらをアッセンブリーして物流ルートに乗せるという流れになっている。いわゆるサプライチェーンである。

ブルームベルグや ING は最近相次いで 2050 年ごろに、世界の物流の 1/4 以上は 3D プリンターを用いたデータ物流になると予言している。つまりこれまで船などで運ばれていた車や家電などは、単にデータだけが送られ、部品の作成やアッセンブリーは現地で行う方式が進むということである。すでにドイツの車メーカーではこの仕組みを導入しているという。この時に重要なのは、3D プリンターに送ったデータの ID が MONO の ID になるということである。つまりノウハウは ID によって認証されるという体系ができる。

従来 ID はサイバーな世界のコンテンツに付けられることが多かった。しかし MONO に ID を付けるということはインスタンス(モノ自体)そのものに ID を付けないと意味がない。例えば自動車を考えたときにすべてのレガシーワゴンが同じ ID だと、故障履歴などと ID を紐付けることができない。我々が使う製品、例えば自動車を考えたときに、車やシャーシ、タイヤレベルであれば個別の ID が振られているが、そのさらに細かいレベルである、例えばブレーキパッドの材料やタイヤのゴムの種類になると ID 化がしにくい。一部は鋳造で作られているかもしれないし 3D プリンターで作られたものかもしれない。もしこれに ID が付くと、どこでどのような方法で作成された鋳造物かというようなことが分かり、品質管理が格段にしやすくなるとともに、いい MONO が流通するという状況が加速される。従来の信用に変わるものとして注目したい。車の場合はこれらの ID を利用して健全な中古車市場を形成できより信頼性の高い仕組みが可能となる。

コラムー5 2060 年の畜産家の生活

後継者不足や TPP による関税撤廃など、今後に向けた課題が多い日本の畜産業界。軽労化と生産性向上を目指して、ロボットや AI を導入することが至る所で注目されている。国内では農業従事者数の減少と高齢化が進展し、平成 26 年の従事者数は前年比 4% 減の 168 万人となる一方、従事者の平均年齢は年々上昇し、平成 26 年では 66.8 歳となっている。農業従事者数が減少する一方で酪農・畜産農家一戸当たりの飼養頭数は増加傾向にあり大規模化が進み、多くの農家では人手不足に直面するとともに、後継者不在による廃業も増加している。

農家の経営では、健康状態など牛一頭毎の適格な個体管理が生産性を左右する。しかし上記のように、飼育戸数や従事者数の減少に伴う農家の大規模化が進む中、多くの現場では、給餌・繁殖・疾病予防といった牛の個体管理は主に「紙やホワイトボードへの記入式」で行われているため、担当者同士の適切なデータ共有・引継等に大きな労力がかかり、牛に関する知りたい情報を、知りたい時に、知りたい場所で入手できず十分な牛の管理を実施・維持することが困難になっている。

そうした中、様々なセンサーを導入して畜種の活動や環境を把握することはスマート畜産におけるデジタル化の第一歩である。個体数(検体数)を増加しデータ収集が加速されれば、ビッグデータが構築される。さらに、それを AI で解析して、効率的な繁殖管理や早期疾病予測が実現できれば、畜産経営に役立つことが期待される。

牛 1 頭 1 頭が端末を介してインターネットに繋がり、IoT(インターネット・オブ・シングズ)とクラウドから成る「牛群管理システム」を使って、牛の個体情報や従業員の作業記録を一元管理が可能となる。牛の状態を知るのに使用される IoT 端末は、牛の首に取り付け水平、垂直、奥行きと 3 軸の加速度センサーを内蔵し、牛の動きや反芻と呼ぶ、しゃくく消化を繰り返す行為、休息などの様子を検知する。AI(人工知能)が個体ごとに行動パターンを学習して、発情の兆候や病気などの異常を農家の従業員はスマートフォンや PC から情報を参照することが可能となる。

今後、重要なポイントは、人間の代行として AI が畜種を常時監視し、ビッグデータを活用することで指導者と同等以上のアドバイスを提示することが、本格的なスマート畜産が実現できるかに繋がる。



3. 北海道を「世界水準の価値創造空間」へ

(3-1) 北海道をメロポリスと基礎生活圈域からなる新しい自律分散型地域構造とする

国立社会保障・人口問題研究所による北海道の将来人口推計によると、2015年国勢調査では約538万人であった道内人口は、2040年には約419万人、2060年には約308万人まで減少する。札幌市においても人口減は避けられず、地方都市、また北海道の多くの面積を占める農林水産・観光業の現場である生産空間においても急速に人口は減少する。北海道特有の広域分散型、散居型の居住形態は、このままだと、今後より一層加速していくことが予想される。また北海道を取り巻く2060年までの外部環境の変化としては、地球温暖化に伴う温帯化、南海トラフ・千島海溝沖地震等の大規模災害の発生、アジア諸国の経済成長と高齢化の進展、エネルギー・食料価格の高騰等が考えられる。このような将来の北海道の内部・外部環境変化に対して、2060年までに、どのような北海道の国土構造を考えていくべきであろうか。

小人口化に対応できず、社会経済活動および社会関係資本が縮退し、国土の2割の面積を占める北海道のポテンシャルが存分に発揮されることなく、世界経済から取り残されていく状況は受け入れがたい。今後とも、北海道の地政学的な強み、資源、人材のポテンシャルを最大限に発揮し、北海道内外の環境変化に対して柔軟に適応し、より幸福な生活を送ることができる社会システムを構築し続けることが求められる。そのためには、将来の外部リスクや今後の小人口社会を前提とした、新たな技術パッケージの導入を検討すべきである。

ここでは、2060年における北海道の国土構造として、札幌～苫小牧周辺の道央圏メロポリスと、都市として自律できる20万～30万程度の人口が約1時間の到達圏内に居住する基礎生活圈域が、多層にネットワーク化されている空間構造を想定した。広域分散化社会といわれる北海道の移動時間の短縮化(高速化)、またIoTや交通手段や移動空間のシェアリングによる移動コストの減少により、基礎生活圈域内部での時間距離的なコンパクト化を図る。都市計画におけるコンパクト＋ネットワーク施策のような、空間的な人口密度の維持だけではなく、単位時間内で交流可能な人口の密度に着目し、交通とコミュニケーション技術を進化・融合させることで、小人口化社会においても多くの人々と交流可能な、ソーシャル・キャピタルが豊かな地域社会を創造する。

基幹システム メトロポリスと基礎生活圈域による自律分散型の地域構造 2060

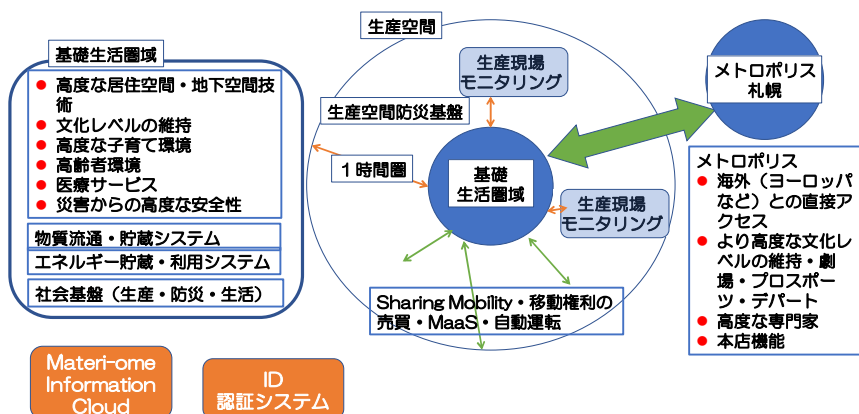


図 3-1 自律分散型地域構造

道央圏メロポリスは、海外とのアクセスや、高度な経済・文化活動がなされる空間としての役割を持つ。複数の空港や港湾が整備され、高速アクセス化される道央圏がその役割を果たす。アジアと北米を結ぶ航空ゲートウェイや北極圏航路等の海外との交易機能を持ち、多くの企業の本店機能、プロスポーツや劇場といった高度な文化レベルが維持され、多数の基礎生活圈と高速ネットワークで接続された、北海道のハブとなる空間となる。

一方、地域拠点となる基礎生活圏域は、教育や高度な子育て、高齢者の生活環境、医療サービス、文化の創造活動といった生活拠点となる都市空間と、それを囲む周辺の生産空間から構成される。地方拠点都市圏内部では、自然再生エネルギー、水・食料、また経済が循環し、人々の社会参加や多様な文化へのアクセス、住民の生活の質 QoL (quality of life) は高く維持されている。基礎生活圏域の一部である生産空間は、農林水産業の生産現場として食料自給を支えるだけではなく、美しい自然や農村景観が保全され、世界中の多くの人々を魅了し、訪問・滞在する空間としての価値、また豊富な水資源を有し、自然再生エネルギーの生産と域内消費がなされる脱炭素社会のテストフィールドとしての役割を併せ持つ。限りある国土空間と資源を活用するうえでは、北海道の生産空間において一定の人口が居住し、経済活動が維持されている必要がある。2060 年に向けて、この生産空間と都市機能を如何に賢く結びつけて、将来に渡り活用していくかが問われている。

生産空間を含む基礎生活圏域では、地方空港や高規格道路、軌道系交通により道央圏メロポリスや海外都市とアクセスする社会基盤が整備されており、メロポリスと基礎生活圏域間においては移動の利便性に違いは無い。基礎生活圏域内部では、周辺領域である生産空間からも、おおよそ1時間程度で都心にアクセスできるモビリティが整備されている。

2060 年までに道央圏メロポリスと基礎生活圏域のネットワーク化を成立させるための要素技術パッケージを考える。モビリティ、自動化技術、物流、エネルギー、通信技術がそれぞれの役割を持つだろう。

小人口化適応技術としての自動運転車両や、いわゆる空飛ぶ車といった空中移動を前提としたパーソナルモビリティ等の交通手段、都市間を高速で結ぶ公共交通、リージョナルジェットといった交通手段の技術開発に応じて、多数の交通手段を柔軟に組み合わせた、人間の生活パターンに応じた多様な移動のサービス化がより高度に進むだろう。このような交通手段とサービスを分離し、消費者ニーズに合わせて統合化し提供する概念は、今日 MaaS として浸透しつつあるが、その源流を見ると、1990 年代からの航空産業の情報化が結果的に企業間のグローバルアライアンスの原動力となった事例が挙げられる。将来的には、多様な交通手段間においてデータ交換がなされ、個々人の移動・行動データと移動手段のデータが組み合わせられることで、より柔軟にサービスを提供できるモビリティ・プラットフォームが構築されるだろう。

また、農林水産業の自動化とそれに応じた働き方が文化レベルで馴染み、小人口社会においても、より品質が高い農林水産物の生産や加工が可能になっている。例えば、鮮度を保ったまま、海外市場に直接輸送できるフードサプライチェーンを支える物流インフラが整備されている。そのために、道路や港湾施設といった物流インフラには、モノを単純に移動させるための「駆動系」の機能だけではなく、何がどこに流れているのか、その状態はどのようになっているのかまで可視化、制御できる「神経系」の機能が付与されている。

エネルギーに関しては、再生可能エネルギーの生産と、生産から消費までのトレーサビリティとプライシング技術により、域内で生産された自然再生エネルギーを利用者側が選択して購入できる仕組みが整っている。小規模分散型の自然再生エネルギーの利用の拡大に応じて、自然再生エネルギーの分散化・貯蔵・輸送技術が進展し、新しい仕事や雇用が作り出されている。

交通と通信は補完と代替性を持つといわれるが、5G 以降の通信環境では、拡張現実として空間そのものを他地点に移送できるため、医療や教育といった多くのコミュニケーションが通信技術に代替される。一方で、身体的なコミュニケーションや、時間と空間を他者と同時に消費するミーティングや観光といった「今・ここ」における時間消費行為に、より高い価値が見いだされている。2060 年には、移動やコミュニケーションに要する費用が現在と比べて低廉化するため、より一層、観光地は世界との競争に晒される。景観や自然を活かした超感動空間を演出するためのインフラづくりや環境モニタリングは今日以上に重要になるだろう。

(3-2) 北海道を付加価値の高い素材の世界への供給基地とする

北海道の産業別構成を名目総生産への寄与でみると、二次産業は 16.9%(全国では 24.5%)となっている。二次産業のなかでも製造業は 8.6%(全国では 18.6%)と低くなっている(北海道ハンドブック・平成 30 年版, 日本政策投資銀行, 北海道支店)。これらから、北海道経済産業の構造的な課題として、製造業が弱く、また、公的需要への依存度が高いこと、域際収支が入超であること、製造業のウェイトが低いことがあげられている。1 次産業は好調であり、全国 1.0%に対し、北海道は 4.1%の産業構成で、食品工業の製造出荷額、事業所数、従業員数などは全国1位となっている。

北海道企業の 99.8%が中小企業が占め、地域経済と雇用の担い手として重要な働きをしているが、昨今の人手不足や後継者難など、極めて厳しい経営環境にある。今後も中小企業が中心となり、1 次産業の 6 次化など 2 次産業と 1 次産業の融合、付加価値がある製品づくりなどヘシフトが進むことが予想される。そして、北海道では研究開発型の中小製造業の競争力強化が付加価値の高い素材の供給基地として必要となる。

製造業における高付加価値化した素材供給を目指した取り組みの例として、室蘭工業大学を中心とした鋳物シンジケートが挙げられる。規模の小さな企業が資本集約型産業である鋳造業で競争力を高めるためには、大手企業が抱える生産設備等の各種部材における、摩耗や熱亀裂、腐食などの損耗、機能保持やコスト削減等の課題解決に向けた品質の作りこみを進めると共に、研究開発の成果を活かし、ニーズの変化に積極的に対応できる新たなビジネスの仕組みを確立することが重要と考えられる。優れた技術力を有する複数の中小鋳造業が地域を越えて連携することにより受注能力を強化し高付加価値素材の生産拠点として、大手企業からの大型案件への対応を可能とする一貫生産を行うネットワークグループとして「鋳物シンジケート」が活動している。川下企業からの大型案件の受け皿となる企業間の広域ネットワークグループ(付加価値の高い素材の供給基地)形成へむけて必要なことは、技術シーズである耐熱耐摩耗材料に関する高度な技術を提供し、複数の中小企業が共同で新技術開発や設備投資を行い、技術力と受注能力を強化することである。

高付加価値素材開発を広域ネットワークで進める鋳物シンジケートは、室蘭・室蘭工業大学を中心としたネットワークであり、北海道における二次産業での同様の試みが可能である。同じく室蘭を中心として 2018 年から進めている航空機関連に特化した開発、苫小牧地区を中心とした自動車関連、釧路地区の一次産業の六次化などと合わせた食品開発、北見地区などの農業と工業の連携(農工連携)に関した開発など、道内各地域において、高付加価値素材に関する技術開発の芽がある。今後、現在の知見を活用・発展させ広域ネットワーク化など供給基地の形成を進める必要がある。

また、付加価値の高い素材づくりにおいては、北海道の優位性を発揮できるフロー系素材(光合成により作られる有機系炭素化合物)の利用が考えられる。高品質・高機能の食素材については次節の(3. 3)で述べることとし、ここでは、フロー系素材の有する多様な構造の利用技術について考える。

化石燃料系を原料とした、プラスチックに代表される現在の石油化学は人間生活に欠かすことのできない素材を生み出している。しかし、化石燃料の枯渇・エネルギー構造の転換とともに転換を余儀なくされ、バイオマスなどのフロー系素材を原料とした、カーボンナノファイバーをはじめとする機能性素材の製造が主流となる。まさに、北海道がその重要な生産基地となることができる。

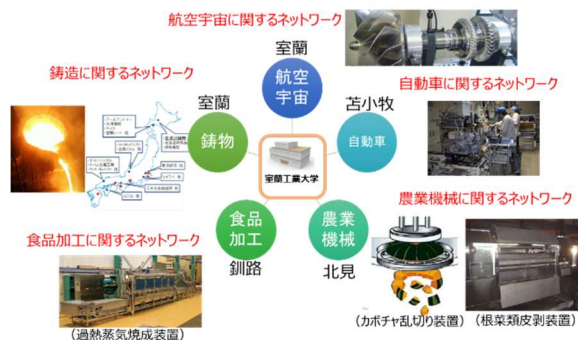


図 3-2 付加価値の高い素材の工業的展開

(3-3) 北海道を高品質・高機能食素材の世界への供給基地とする

我々人間を含め、あらゆる生物は炭素原子を骨格とする有機化合物が主体となって構成されている。これらは、食事から摂取した有機化合物が分解されることにより得られるエネルギーを使い、同じく食事から摂取した有機化合物の分解産物を材料として生体内で合成される。このように、食事には生命活動に必須となるエネルギー源や体の構成成分の原料となる有機化合物が含まれており、それらは3大栄養素として、炭水化物、タンパク質、脂質に分類される。一方で、人間は3大栄養素だけを食べておけば生きていけるというものではない。微量ではあるが生命活動に必須であるビタミン類を摂らないと、様々な欠乏症にかかってしまい死に至る。また、近年では、食品に様々な生理活性を示す機能性物質が含まれていることも明らかになってきている。これらビタミンや機能性物質は、炭水化物、タンパク質、脂質と比較して複雑な構造をしていることが多く、化学的に合成することは困難である。また仮に可能であったとしても、合成経路が複雑であり高価となるため、農作物など生物を使った生産が現実的である。現在、我が国では、このようなビタミンや機能性物質を含む食品のうち、それらの機能性が科学的根拠に基づいて証明され、それを表示することが許されている食品を保健機能食品(特定保健用食品、栄養機能食品、機能性表示食品)として、一般食品と区別し販売することができる。

ところで、日本の国民医療費は急激に増大している。平成27年度には42兆円を超え、対国民所得費はこの50年で2.5倍となり、大きな社会問題となっている。このような背景のもと、上述のような保健機能食品制度が始まり、食による病気予防により増大し続ける医療費削減を目指す大きな流れが進行している。その一方で、機能性成分が十分量含まれていない機能性表示食品が市場に出回るなど、保健機能食品制度の根幹を揺るがしかねない問題も起きている。

北海道は、全国の農地面積の1/4を占め、カロリーベースの食料自給率が日本一の、我が国最大の食料供給基地である。もし、北海道で生産される食品に含まれるビタミンや機能性成分、また、それらが複合的に作用して生み出される機能を、革新的なセンシング技術により迅速、正確に評価し、食品と共にその情報を顧客に提供することができれば、国民の健康増進と医療費の削減に与える影響は非常に大きい。科学的根拠に基づき確かな機能性を有する食品を、ブロックチェーンにより保護された虚偽りのない正しい情報と共に提供することができれば、その食品はより付加価値の高いものとなり、北海道の発展にも大きく資するだろう。マクロ的観点からみれば、従来医療費に充当していた費用のうち、食で予防が可能な医療費分の一部を食料生産者に流入させることで、医療費の削減と生産者の収入増を図るという図式である。

以上を実現するためには、食品に含まれる機能性物質の構造や機能をより高速で正確に評価出来るセンシング技術の開発が必須である。さらに、薬とは異なり、弱い生理活性を持つ成分が複数含まれる食品の場合、それ

が農作物の中でどのように生産され、それを食べた人が生体内でどのように代謝し、最終的に健康維持に寄与するか、農作物とそれを食べた人々の代謝を含む様々な情報を統合したマテリオームマップの理解が重要となる。これは、医薬品や機能性食品の開発のような、ある強力な機能性を持つ1つの物質が生体内に取り込まれた後どのように代謝され、生体に影響を与えていくかを調べる従来型の手法で解明することは困難であるかもしれない。日々の食事(どのような機能性物質を含む食品をどのように食べたかという経時的情報)という入力と、健康診断の結果やスマートウオッチ等に内蔵されている脈拍や血圧等の経時的な変化等の出力の関係をビッグデータ解析し、それらの膨大なデータの中から食と健康の関係性を導き出すという手法が有用であろう。マテリオームマップが解き明かされることで、人が食べた際に最も効果的な機能性を示す、より高品質で高機能な食材の生産も期待される。

我が国の農業・食品産業は、戦後の十分な栄養源を確保するための大量生産に始まり、人体に有害な物質を極力含まない安全安心な食品の生産、より美味しい食品の生産、さらにはより高機能な成分を含む食品の生産へと変遷してきた。2060年には人の代謝、食材の代謝、さらには食材の栽培環境情報を含むマテリオームマップが解き明かされており、それらを活用することで、病気を生み出しにくい食生活が常識となっているかもしれない。

(3-4) 北海道内で物質とエネルギーの自立化とID化を目指す

2060年の化石燃料をはじめとするエネルギーの制約は北海道に大きな影響を与える。2017年度の北海道の貿易赤字8000億円のうち、6300億円が鉱物燃料の輸入によるものであり、北海道の持続可能性を高める意味でも、エネルギーの自立が必要である。北海道は風力・地熱・太陽といった再生可能エネルギーの宝庫であり、情報技術との結合による、エネルギー需要の徹底的な削減とあいまってエネルギーの自立を図っていくことが必要である。下図に北海道内でエネルギー自立を図るための仕組みの考え方を示す。エネルギー源として、太陽光・熱、潮汐・波力、風力、小水力、地熱、最終フロー系素材の再生可能エネルギーが用いられる。最終フロー系素材とはフロー系素材から価値の高い機能性構造を抽出した後の残差やヒト・家畜のし尿中の有機物を想定している。これらの再生可能エネルギー源はVariable Renewable Energy (VRE)と呼ばれるように出力が変動する。このような変動するエネルギー源を用いて変動するエネルギー需要に対応していくためには、効率的なエネルギー状態評価・配分・貯蔵を行うシステムが情報技術とエネルギー製造・配分・貯蔵技術との結合によって用意されねばならない。このようなシステムは北海道の自律分散型地域構造との対応をとり、北海道を一つの地域としてマネージするシステムと個々の基礎生活圏を自立分散的に維持管理するシステムとの階層構造を持つことになる。また、このシステム内を輸送・利用されるエネルギーにはIDが付与され、エネルギー利用者はエネルギーの質・源を選択しながら利用することになる。そして、冬の暖房需要を削減するために、地下構造物の利用など、エネルギー利用の高効率化が図られねばならない。

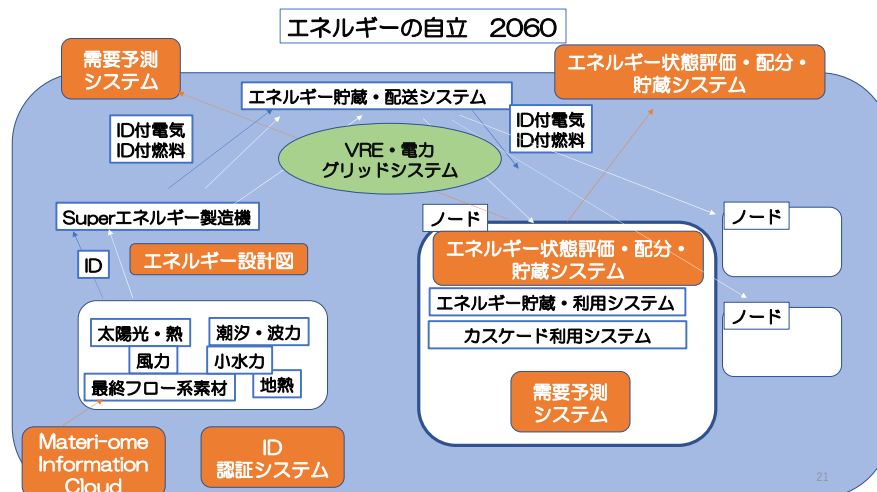


図 3-3 北海道内でエネルギー自立化を展開するために

北海道内で利用・蓄積・貯蔵されている物質も北海道内で自立することが必要となる。これは、エネルギー制約の下、物質の大量広域輸送が難しくなるからである。さまざまな社会インフラや建造物の超長寿命化が必要である。そして、ものの状態を把握し、履歴を管理しながら、「補修をするか・新しくするか」を判断するシステムがこの長寿命化を支えることになる。ものの利用をやめることは廃棄することを意味するのではなく、「もの破壊図」に則って、新たな価値が再付加され、物質の循環が進められることになる。ものの破壊は原子レベル、分子構造レベル、世界的な標準化規格に則ったパーツともいえるべき、一定の機能を保持した機能単位などの階層的な形態をとる。そして、原子レベル、分子構造レベルまで破壊されたものは、再度3Dプリンターのインクとして利用されることになる。分子構造・原子配列と機能の関係や一定の機能を保持した機能単位といった膨大なデータはマテリアル・インフォメーション・クラウドに蓄積されており、物質設計図、もの設計図、もの破壊図もこのクラウドに集められている。すなわち、北海道内では、できるだけものは長く使用し、補修も含めた延命化を受けたのち、3Dプリンターのインクとして新しい価値を付けられてものは循環することになる。この循環のためには、素材の履歴が明らかになる必要がある。すなわち、すべての物質にIDが付与されて管理されることになる。

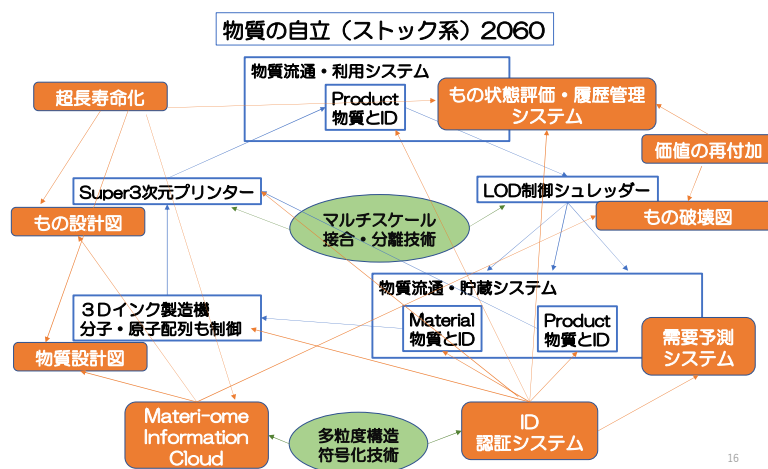


図 3-4 北海道内で物質の自立化を進めるために

(3-5) 北海道を宇宙にむけた基地とする

宇宙時代が到来するといわれて久しい。1969 年にアポロ 11 号で人類が月面に降り立った。アームストロング宇宙飛行士が発した「一人の人間にとっては小さな一歩だが、人類にとっては大きな飛躍である」という名言を覚えている方も少なくないであろう。それからわずか 12 年後にスペースシャトルが初飛行した。スペースシャトルは何度も繰り返し使用できる再使用型とよばれるタイプで、宇宙空間へ今までより低コストで行くことができると期待されて登場した。それを契機に宇宙活動への機運が高まり、国際宇宙ステーション建設や宇宙観光旅行などの計画が相次いで発表された。今から 20 年以上も前になるが、1998 年にはテレビコマーシャルで「2001 スペースツアーズ・ペプシ」が放映され、宇宙への旅が懸賞で当たると話題になった。当時、誰でも宇宙へ行くことができる時代がまもなく始まるといわれるようになった。

たしかに、当時にくらべて現在は宇宙が身近になり、気象衛星ひまわり、放送衛星(BS)、通信衛星(CS)、カーナビやスマホの GPS など、人々が実用的に宇宙の恩恵を被っている。しかしながら、アームストロング飛行士が月面に着陸して 50 年が経過した今日でも、気軽に宇宙に行くことはできないのが現実である。その背景には、米ソ冷戦構造の崩壊、スペースシャトルの 2 度の打上げ失敗、有人宇宙輸送と宇宙滞在の経済性などがあげられる。

ところが昨今、宇宙開発活動が再び活発化している。日本国内でも宇宙旅行の販売が本格的に開始され、アメリカのスタートアップ企業が世界初の宇宙ホテル“オーロラ・ステーション”の開業を発表している。また、起業家の前澤友作氏が SpaceX 社が開発するビッグファルコンロケット(BFR)で月周回旅行すると発表されたことは記憶に新しい。さらに、株式会社 ALE がイプシロンロケットで人工流れ星を降らせる衛星を 2019 年 1 月に打上げており、2020 年春には瀬戸内地方を中心に広い地域で人工流れ星が観測できる予定である。宇宙はエンターテインメントをはじめ、さまざまな事業の場としての価値が高まっている。

北海道に目を向けてみよう。2019 年 5 月 4 日、北海道大樹町に本社を置くインターステラテクノロジズ社が日本民間初の宇宙空間へのロケット打上げに成功した。このロケット MOMO3 号機の宇宙空間への到達には大きな意義がある。まず、徹底的な低コスト化の追求である。日本の基幹ロケットとは一線を画し、枯れた技術を効果的に利用して「ロケット界のスーパーカブをめざす」と公言している。同社は近年の小型衛星や超小型衛星の打上げ需要の拡大を背景として、今後、軌道投入用ロケット(コードネーム ZERO)の開発を行うとしている。このような低価格の打上げ手段が市場投入されることで、顕在化しているペイロード事業者の需要を満たすだけでなく、潜在的な宇宙事業の需要を喚起するであろう。

つぎに、宇宙ビジネスのすそ野や産業振興への波及効果の大きさが挙げられる。宇宙ビジネスには、ロケットなど宇宙輸送系の製造を担う機械系産業、人工衛星の製造を担う電機系産業、地上設備や装置の整備を担う土木・建築・プラント・エンジニアリング系産業、電気や水などのインフラ・エネルギー系事業などが必要である。また、ロケットの打上げでは、ロケット推進剤(燃料や酸化剤)を大量に使用するため、射場を拠点としてそれらの製造、輸送、貯蔵、運用、消費が行われる。実際の打上げ現場は、ロケットの開発・運用に携わる人たちだけでなく、多くの観光客や取材・マスコミ関係者が集い、人々の心を震わせ、緊張感と高揚感に包まれる。それほどの求心力のあるイベントであることは、MOMO3 号機の打上げでも明らかである。将来、低価格で宇宙旅行ができるようなロケットが誕生すれば、宇宙への玄関口として宇宙港(スペースポート)が整備され、アクセス道路や線路あるいは有人ドローンによる物資や人の往来が活発化し、近隣地区にはホテルが建設されるかもしれない。すでに世界中でスペースポート建設の計画は多数発表されており、日本でも一般社団法人 Space Port Japan が 2018 年 7 月に設立されている。

国内旅行や海外旅行へ行くような感覚で、宇宙旅行へ行くような時代が確実に近づいている。遊園地に行くよう

な気分が無重力体験飛行をする, 新婚旅行や気のおけない友人と一緒に宇宙ホテル滞在ツアーに参加する, 大型連休を利用して月旅行に行ってみる, こんなことも現実になる日が来るであろう. そんな宇宙への出発・帰還基地を作ろうとした場合, 建設場所にはいくつかの条件をみたす必要がある. 海のそばにある(東あるいは南に開けている), 広大な敷地で安全が確保できる, 物資や人の輸送に適している, 天候が比較的穏やかである, 緯度が低い, 漁場や航路との干渉が少ない, インフラ(水源, 電力, 通信等)が確保できる, 追尾・追跡が行いやすいなどである. これらの条件をすべて満足するところを探すことは困難であるが, 北海道は多くの要件を満たしており, スペースポートの建設には適していると考えられている. 宇宙への玄関口として, 日本あるいは世界中から北海道に人や物資が往来し, そこに新たに国際色豊かな街ができ, 宇宙旅行に胸を躍らせる人々の笑顔が絶えない未来を想像してみるのもおもしろい.



図3-5 MOMO3 号機の打上げ(写真: インターステラテクノロジズ(株)提供)

(3-6) 北海道を大いなるテストフィールドとする

北海道は昔からフロンティア精神にあふれる地であり, Boys, be ambitious のクラーク博士のことばはそれを象徴するものとしても扱われる. 広大な領域と自然が豊かに残されている北海道はこれからの日本の将来を占う上でも貴重な地域であろう. 北海道は面積で日本の 22%に当たる 83,456km² でありオランダの倍くらい, 人口では 552 万人でデンマーク, フィンランドと同じくらい, オランダの 1/3 くらいである. 近年急速に発展し, 新しい国の政策としても注目されている地域がオランダや北欧であろう. 世の中の価値観が「お金」から「ハピネス=幸福度」というように変化しつつある今を考えてみよう. 北欧やオランダから学ぶことは多い.

新しい技術を社会実装する際によく問題になるのが, 規制とかしがらみである. 明らかに導入したほうが合理的であると判断されてもこれらの障害が邪魔をする場合は列挙にいとまがない. これらを一旦棚上げして, 導入してみるとどれだけいいことがあり, どういう問題点が出るのかを試していく姿勢がこれからの日本を考える上では貴重である. 北海道はそういう新しいフロンティアサービスのテストフィールドになる要素が詰まっている. 広大な大地, 豊かな自然, 道民のオープンな性格, 過去のしがらみの少ない地域, 東京や大阪という影響力の多い地域から離れていること. それでいて, 東京まで 1 時間ちょっとのフライトで到達できるという恵まれた地域である.

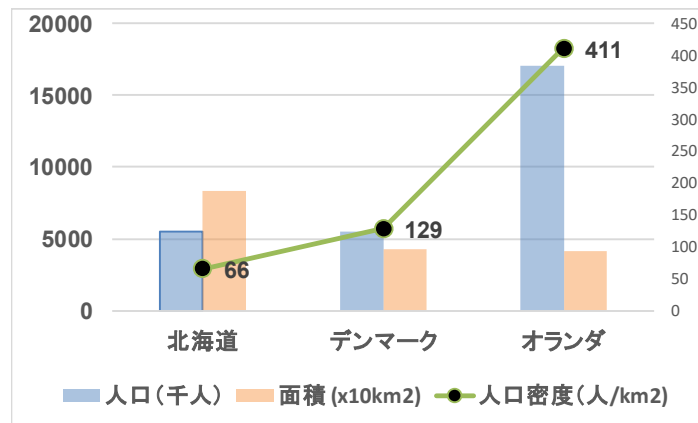


図 3-6 北海道の人口・面積・人口密度を他国と比較してみると

大樹町で成功した小型ロケットの打ち上げ基地, 自動運転車を用いた MaaS の実験などすでにいくつかの分野では成功例も出つつある。3D プリンターを用いた新たな物流改革においても関税や PL 法など乗り越えなければならない問題は山積しているが, まずはその可能性を試してみることが必要なのではなかろうか。その中でオランダのように思い切って重点化することにより北海道の方向付けをすることができる。オランダにおける農業はその輸出額が世界第 2 位という点が強調されているが, それを実現した手法を学ぶべきである。徹底したサーベイとそのデータを用いたデジタル化により, 園芸農家における品種の限定化がなされた。オランダでは園芸農家は 10ha を超える規模で大規模化した上で品種もトマト, キュウリ, パプリカに絞っている。また, 花き類(チューリップ等)、ばれいしょ(輸出額世界第 1 位)、玉ねぎ、トマト(同 2 位)なども有名でまさに北海道に似た状況である。オランダでは流通においてもコンテナの規格化など徹底した合理化とそれを支えるソーシャルキャピタルをベースにした不確実性を積極的に取り入れたデジジョンメイキングである。オランダと言えば水車の国というイメージの人が多いだろう。何度となく繰り返される洪水により数十万人以上の人々が亡くなったと言われている。これを克服するために灌漑, 排水などを行った。水車はその象徴でもある。

オランダで起こったことを日本全体として実行するには困難性が高すぎるであろう。だからこそ北海道である。ここで様々な試行を繰り返し, その成功例を広めるという方法は今後の日本全体の構想としても重要である。大胆に言えば, 北海道だけ時差を持ってもいい。札幌と東京とは緯度にして 2 度くらいの差しかないが釧路だと 6 度くらいになる。そこで 30 分あるいは 1 時間の時差をつけて, 北海道が世界で一番最初に時刻を刻む地域にするというのである。そこに株式市場を持ってきてもいいし, 様々な有利な状況を作られるのではないだろうか。

4. 室蘭工業大学の北海道の将来への貢献

ここでは、北海道の将来に直接貢献する5つの研究項目、ならびに、世界に先駆けて創生する2つの学術基盤形成を記す。これらは、室蘭工業大学の工学から理工学への教育の展開に対応したものである。すなわち、北海道の資源・資産の本質を解明し、その本質を体系づけ、かつ、それを北海道に活用するものである。

(4-1) 自律分散型地域構造の構築のための研究マイルストーン

自律分散型地域構造構築のための研究マイルストーンを考えてみよう。未来を考えるにあたり、まず過去から現代、未来まで変わらないモノ・コトを考えることが重要である。

まず、2060年時点における我々の欲求、例えばマズローの欲求5段階説で説明される生理的欲求、安全の欲求、所属と愛の欲求、承認欲求、自己実現欲求は、2060年においても変化していないだろう。我々の身体と知覚も、2060年までの今後40年間では寿命以外はあまり変わらない。2060年時点においても人が消費できる時間(1日24時間)や、北海道の大きさ(面積)も今日と同じままだ。

人間の欲求や身体制約、また空間や時間が将来に渡り不動である一方で、人間の認知領域は道具の利用により拡張され続けてきた。例えば人間の足は自動車に変化したし、視覚や聴覚は電話やTV、IoTとして変化し、我々はより自由に空間を移動し、モノを運び、社会を構成できるようになった。

2060年の人間の認知領域は現在と比較して存分に拡大しているだろう。これは交通技術の進化や情報通信技術の登場により、我々自身の外部世界に対する認知が変化してきたことを省みると明らかである。産業革命による蒸気機関の発明から鉄道敷設、内燃機関の発明と自動車の大衆化によるモータリゼーションの勃発と都市の拡大、インターネットの浸透と情報通信産業の誕生といった歴史を振り返ると、移動やコミュニケーション技術の進化と人間の活動領域の拡大、認識領域の深化が互いに密接に関連していることがわかる。

必要は発明の母といわれる。また形態は機能に従うともいわれる。将来の国土空間像を考えるにあたり、人間の欲求ニーズに対する技術シーズ相互の親和性も考慮する必要がある。例えば、人口増加期であった高度成長期には、その時点での人々の幸福を追い求めた経緯の中で、自家用車の増加と道路整備の拡大、ローンと持ち家の増加、ガソリン価格変動に対する内燃機関の効率化等、個々の技術が相互に結びつき、正のフィードバック・ループを描いた結果、高い環境負荷や渋滞、無個性な郊外といった課題を持つ、スプロール化した都市が出現した。しかし近い将来、自動運転車両とシェアリング技術の組み合わせにより、低廉なコストで利用可能、かつ柔軟に目的地まで移動できるモビリティが出現すると、現在の都市の形態が変わるといわれている。小人口化を迎えた現在から将来の住まい方を考えると、今後の要素技術の進展に応じて、新たな技術が社会にインストールされ、我々の生活パターンや行動様式に変化が生じていくだろう。生活や環境、災害リスクがより詳細にモニタリングされ、より安全な国土空間整備が進むだろう。また今後、多くのインフラが老朽化していくなか、人口増加期に整備した全ての社会基盤を将来に渡りそのまま維持することは困難である。新しい時代にふさわしい技術を選択して、我々の居住空間をリ・デザインしていくことが今後求められる。

自律分散型地域構造は、20万人～30万人程度の基礎生活圏の人口を、都心部までおよそ1時間程度の移動時間の範囲に収め、それを高速ネットワークで接続させる国土の時空間構造の提案である。新しいモビリティ技術により、小人口社会であっても交流可能な人口を維持し、自然再生エネルギーの利用拡大を図り、域内消費を均衡させることで、文化的にもエネルギー的にも頑強な地域構造を形成する。これにはモビリティの進化だけでなく、エネルギー技術の進化、これらを結びつける情報技術の進化が必要である。

室蘭工業大学が北海道の将来のために貢献するためには、国土空間の中で北海道が果たすべき役割に着目した、データサイエンスと融合した計画支援プラットフォームの構築と、それを用いた戦略的な空間整備技術の研究が重要となる。2030 年までには、複数自治体レベルでの統合的まちづくりプラットフォームの実装と運用、社会基盤データベースとアセットマネジメントの一般化がなされる。また自動運転技術の浸透と広域的な MaaS の実装方法、小人口化に対応した階層型の土地利用形態や新たなモビリティ技術・情報技術に関する研究が進展している。2040 年以降には、自然再生エネルギーの生産・貯蔵・輸送技術が普及し、都市施設、交通システムでの利用が始まる。2050 年以降には各地域の特徴を生かした形で基礎生活圈域の形成が進み、圏域間が高速ネットワーク化されることで、多様な将来リスクに対してレジリエントな国土構造が成立している。

また、これらの国土構造構築ならびにその維持のためには、コミュニティ・エンジニアともいべき人材の育成にも室蘭工業大学は貢献しなければならない。コミュニティ・エンジニアは情報・エネルギー・物質の全てに精通した高度なエンジニアであり、自律分散する基礎生活圈域の生活環境・医療・文化、自然再生エネルギー、水・食料と経済の循環を支え、住民の生活の質を高く維持するために働くグループである。

自律分散型の地域構造へのMile-stone

基盤技術

- 統合型まちづくりプラットフォーム
 - ヒトとモノの移動の総合化
 - アセットマネジメント
 - 基盤インフラデータベース
 - 基盤インフラ運用ビッグデータと解析手法
- 技術の社会へのInstall方法
 - 社会と技術の相互作用研究
 - 技術の社会システムへの親和性研究
- 新たな社会基盤技術
 - 生産空間・ノード・メトロポリタンの階層型システム
 - モビリティ技術・情報技術によるヒト・モノ・情報輸送体系
 - 生活・生産・防災のための情報システムと基盤施設

14

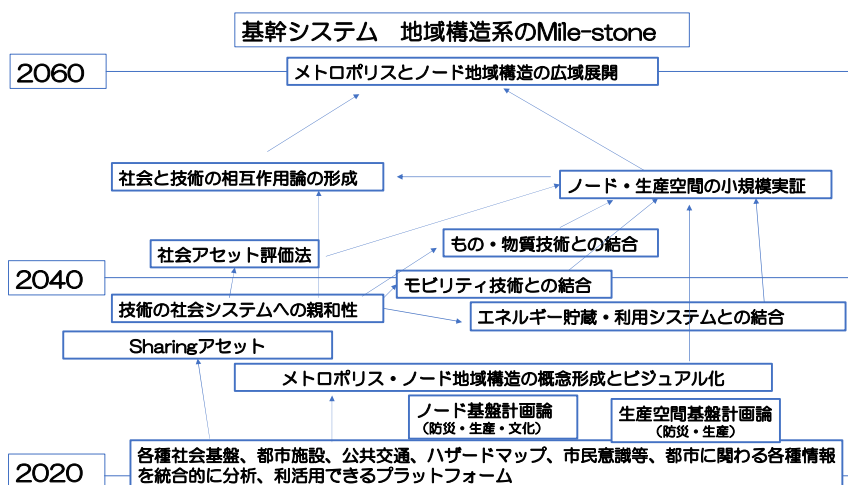


図 4-1 自律分散型地域造のための研究マイルストーン

(4-2) 付加価値の高い素材の供給基地形成のための研究マイルストーン

これまで室蘭工業大学は、高付加価値材料となる製品の合金配合や熱処理条件など、最適なものを決定づけ、またその評価として硬度や強度などの機械的性質や組織状態の観察など、品質の評価も進めてきた。また、希土類をはじめとする、多様な元素の利用・回収技術の検討を行ってきた。今後の課題としては、下記の開発を進める必要がある。

①高付加価値のあるコンポジットマテリアルの開発(研究開発)

高付加価値の高い素材のひとつとして、超長寿命化素材すなわち、耐摩耗化素材、耐熱素材などがあげられる。その一つの例として、超硬などの炭化タングステンや炭化チタンなどの異種素材と耐摩耗鋳鉄材料を複合化させたコンポジットマテリアルの開発が重要視されている。

②大学を中心とした中小企業のネットワーク化(技術指導力の向上)

開発した高付加価値素材は、その製造手法が困難である場合が多い。すなわち、素材の製造条件は、原子・分子スケールでの接着・成形・切断・分解の技術そのものであり、組織制御のために、多様な条件の最適化と制御が必要となる。北海道では研究開発型の中小製造業の競争力強化が付加価値の高い素材の供給基地として必要となる。そのためには、大学を中心とした中小企業のネットワーク化を進め、高度な分析機器の共有や製造技術の平準化を進めていく必要がある。

③品質管理体制の強化・確立(品質評価技術の開発)

また、付加価値製品を取り扱う川下企業の要求として、品質の均一化が重要である。各企業が製造する高付加価値素材は製造条件をマニュアル化しても、必ずしも同一の製品であるとは限らないことから、品質検査が重要となる。出来上がり製品の外観、内部欠陥、求められる特性など、外観上、成分上の品質検査及び評価を一元的に実施する体制づくりが必要となる。このためには、内部構造の可視化を含む高度な測定技術と製造過程のシミュレーション技術を連動させた、品質評価技術の開発が必要となる。

④カーボン・ナノファイバーに代表されるフロー系素材からの機能性材料の開発(研究開発)

化石燃料系を原料とした石油化学素材は、化石燃料の枯渇・エネルギー構造の転換とともに変化を余儀なくされ、フロー系素材を出発点とした、カーボンナノファイバーをはじめとする多様な機能性素材の製造フローを形成させる必要がある。すなわち、フロー系素材に対する、接合・成形・分離技術の開発が必要である。

(4-3) 高品質・高機能食素材の世界への供給基地形成のための研究マイルストーン

1869年にロシアの化学者ドミトリ・メンデレーエフによって周期表が提案され、これまでに世の中に存在する118種類の元素が報告されている。また、2003年4月には、ヒトゲノム計画が終了し、ヒトの全ゲノム解読完了が宣言された。ヒトゲノム解析計画終了後、遺伝子解析技術はさらに進化し、ヒトゲノム計画では13年という時間と、30億ドルかかった費用が、現在では1日以下の時間、1000ドルで解析できるようになっている。2020年が間近に迫る現在、これらの遺伝子から発現し機能するタンパク質の総体を扱うプロテオーム研究、これらのタンパク質から構成される酵素反応の結果生成する代謝産物の総体を扱うメタボローム研究が進み、生物体内でおこる様々な反応の全体像がおぼろげに見えてきた。

付加価値の高い機能性物質の本体の多くは、代謝により生産される有機化合物である。従来、様々な生物が持つ機能性物質のうち、とりわけ生体に対する影響が大きい物質をもとに医薬品が開発されてきた。一方で、比較的機能性が低い物質でも、毎日の食事として体内に取り込み続ける食品に含まれるものは、医薬品同様に人の健康に大きな影響を与えられとされる。

近年の科学技術の進歩、とりわけイメージング技術の発展は、膨大な物質情報（構造と機能）を高速かつハイスループット解析可能できる革新的センシング技術の開発に寄与してきた。遺伝子解析技術の驚くべき進化も、イメージング技術の発展と共に進んできたといえる。今後、さらにこれらの技術開発は進み、様々な物質の構造やたとえ弱い機能性であってもそれを高速かつハイスループットで解析できるようになるだろう。

北海道内に設置されている室蘭工業大学が、北海道の将来のために貢献するためには、北海道の特徴的な産業である、農業・食品分野に特化した革新的センシング技術の開発と、それを生かした農業・食品分野のマテリアルマップ作成に挑戦することが重要である。以下にそのためのマイルストーンをまとめる。

【2030 年】食品に含まれる様々な物質の構造と機能を短時間かつハイスループット解析可能な革新的センシング技術の開発と、それらを活用したビッグデータベースの作成

【2040 年】膨大な情報から、構造単位と機能単位を抽出するとともに、それらの機能性を維持さらには向上させる栽培、加工、流通技術の社会実装

【2050 年】様々な物質の相互作用により創生する機能の解析、および新たな機能性物質の予測、デザイン、製造。これらの情報をまとめ、マテリアルマップの農業・食品ドメイン部分を完成

【2060 年】マテリアルマップの農業・食品ドメインおよびヒト代謝ドメインを活用した、「病気を生みにくいうデザインされた食事」の社会実装

(4-4) 物質とエネルギー自立化とID化のための研究マイルストーン

北海道内でエネルギーの自立化を図るためには、再生可能エネルギーをうまく使っていくシステム(①エネルギーの製造・配分・貯蔵技術と情報技術の結合したシステムと、②より少ないエネルギーで生活・生産する高度な省エネルギーシステム)の開発とその社会実装が必要である。これらを達成するための研究のマイルストーンを図4-2に示す。まずは、再生可能エネルギーシステムのより高収益化・高効率化を図るための研究と出力が変動する再生可能エネルギー(VRE)をうまく配分するシステムの検討から始めることになる。そして、質の悪いエネルギーの利用技術(低級熱直接利用技術)やカスケード利用技術(エネルギーの利用は量の消費ではなく質の消費であり、利用するごとにエネルギーの質が低下する。そのため、初めに質の高いエネルギーを必要とする場で利用し、続いて、低質エネルギーを利用できる場でエネルギーを使うことをカスケード利用という)と、エネルギーを貯蔵する技術(蓄エネルギー技術)が用意される。そして、小規模での実証へと進むことになる。また、人工光合成技術の開発により、家庭用・移動体用カーボンレスエネルギーと展開が可能となる。そして、北海道の自律分散型地域構造の構築と歩みをあわせながら、ゼロエネルギーコミュニティの広域展開へと進んでいく。

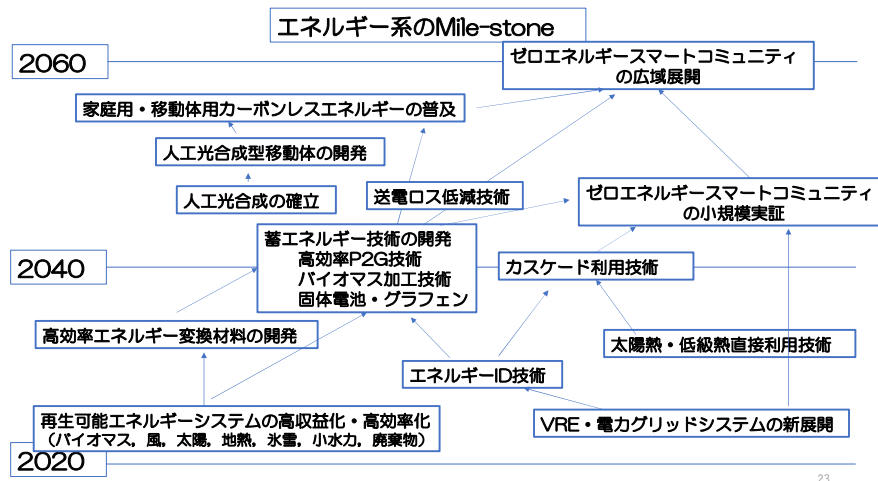


図 4-2 エネルギー自立のための研究マイルストーン

一方、物質の自立化に向けては、北海道内で産出しない物質を用いた「『もの』の製造」→「道内流通」→「利用」→「道内流通」→「破壊」→「道内流通」→「物質の再構成」→「『もの』の製造」のループを作る必要がある。なお、ここでいう「破壊」とは、原子・分子レベルまでの破壊と、一定の機能を有する機能単位までの分解の両者を指す。また、物質の状態を測定するセンシング技術も必要となる。これらの研究マイルストーンを図4-3に示す。図中の項目は①加工・分解関連の技術、②物流技術、③計測技術の3列に大別される。加工・分解の技術開発のゴールはSuper3次元プリンター、シュレッダーというハードと3次元プリンターのインクに相当する多様な素材を作ることにある。素材については、原子・分子配列制御技術であり、本学が優位性をもっている分野である。そして、これは原子・分子スケールでの接着・成形・切断・分解の技術でもある。また、機能を有する素子やパーツのような機能単位については、世界標準規格ともいべき標準化を進め、原子・分子スケールよりも大きなシステムとしての機能単位を対象とした、接合・成形・分離技術の開発と相まって、3次元プリンターやシュレッダーが完成することになる。北海道における物質の自立には、超長寿命化も重要な要素となる。このための技術はライフサイクル設計技術というべきものであり、「もの設計」・「もの破壊」・「物質設計」を総合化した「もの」の一生を設計する技術の開発に進むことになる。物流技術は北海道の自律分散型地域構造の構築と歩みをあわせながら自動運転・3次元空間利用技術が開発されることとなる。計測技術は物質の構造と機能を様々なスケール（原子配列レベルから「もの」のレベル）で測定する技術であり、物質にIDを付与すること（構造符号化・認識技術）も含まれる。以上のことにより、物質の循環・自立のシステムの情報化と階層化が進み、かつ、社会システムとしての総合化が可能となる。

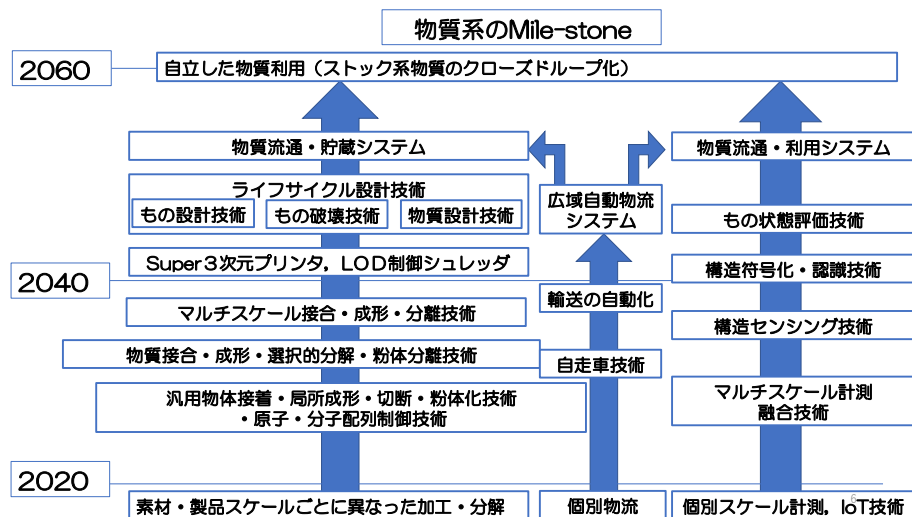


図 4-3 物質自立のための研究マイルストーン

(4-5) 宇宙への基地とするための研究マイルストーン

現在の宇宙への唯一のアクセス手段はロケットである。Space X 社は、垂直に打上げて垂直に着陸できる再利用型のファルコンロケットを運用している。Virgin Galactic 社が宇宙旅行の商業運航で用いる SpaceShipTwo は、航空機から高度 15km で空中発射された宇宙船を弾道飛行により宇宙空間まで到達させて水平着陸する。宇宙からの帰還までを考えると、宇宙へのアクセスは、ロケット技術と有翼の航空技術が高度に発展して実現するものである。

また、高頻度での運航を前提とする宇宙観光旅行では、機体そのものの信頼性だけでなく、あらゆるハザードを想定した上で、緊急帰還などの非常運用も含めた輸送システムの構築が必要である。

2020 年代の中頃には、ドローンやヘリコプターなどの近距離・低空飛行の実績などに裏打ちされた、電動・垂直離着陸型の身近な空の移動手段が実用化されると期待されている。高い安全性と信頼性を有する機体や推進装置の技術開発に加えて、離着陸場所・静粛性・領空・航法管制・型式証明・安全基準などの法制面の整備が必要となる。また、エアタクシーのような有人輸送に関しては、搭乗者保険、経済性、快適性なども十分に注意を払う必要がある。

実用化にあたっては、さまざまな条件における多数回の試験飛行がおこなわれる。物理的なテストフィールドの整備が必要となる。また、北海道では経営に苦しむ JR の代替手段として過疎地交通の経済性評価など、ソフト面でのテストフィールドにもなりうると考えられる。

2 地点間的高速・大量輸送においては、超音速エンジン、軽量・耐熱材料、ソニックブーム低減などの技術革新により、超音速飛行が実現化し、大陸間を現在の数分の一の時間で移動できるようになる。さらにサブオービタル飛行による民間宇宙飛行サービスが本格化するとともに、宇宙ビジネスが隆盛となり超小型衛星の定期的打上げが開始される。

2040 年頃までには、空飛ぶクルマが社会的に受容される水準にまで到達し、モノの輸送、地方間での人の移動の事業化が進んでいくものと考えられる。地上からの遠隔操縦や無人での自律飛行など、目的や用途に合致した複数の手段による空の移動が実現する。3 次元輸送における多数機運航管理と衝突回避の技術、AI を活用した自律制御や無人機の運行管理システム(UTM)が構築される(空の移動革命)。

また、人類の宇宙空間への活動領域拡大が加速し、ゲートウェイ計画を起点として月面有人探査・月面基地建

設着工や火星への無人・有人探査が進められる。

大陸間高速輸送は、極超音速輸送へと発展するとともに、ロケット推進も装備した宇宙往還機の実現により、スペースツーリズムが浸透する。

2060年には、空飛ぶクルマの利用が離島や山間部を含めた地方から都市部にまで拡大し、渋滞緩和やインフラコスト低減をもたらし、エアコミュータとして本格化することが期待される。また、地上移動と空の移動がシームレスとなり、災害救助・救命救急・過疎地離島交通の手段から、“だれでもどこへでも”という形で一般用に普及し、タケコプター社会が到来する(Air-sharing, On-demand Aviation)。

宇宙輸送系においては、Air-breathing(Ramjet, Scramjet)エンジンや複合サイクルエンジンの開発によりスペースプレーンが実用化され、身近で手軽に宇宙旅行を楽しむ時代となる(宙の移動革命)。

(4-6) 北海道への貢献から創造する学術基盤—1:Materi-ome Information Cloud

Materi-ome(マテリオーム)とは、material(物質)とome(総体)を合わせた造語である。gene(遺伝子)とomeの造語であるgenome(ゲノム)に始まり、protein(タンパク質)+omeのproteome(プロテーム), metabolite(代謝物)+omeのmetabolome(メタボローム), 近年では高校の生物基礎で学ぶbio(生物)とomeの造語であるbiome(バイオーム)が類義語としてあげられる。

人間はより豊かな生活を送るため、有機物質や無機物質を加工し、食事や薬、航空機や自動車から家にいたるまで、様々なものを作ってきた。これは生体内で起こる代謝にも似ており、人間が触媒となってドライブされる広い意味での物質代謝(生体外メタボローム)と考えることもできる。生物の代謝経路は大きく同化と異化に分けられる。すなわち、エネルギーを使って生体内に必要な物質を組み立てる同化経路と、比較的大きな物質を分解して生命活動に必要なエネルギーを取り出し、また新たな物質を作るための材料を作る異化経路である。これらを総体的に考えるのがメタボロームという概念である。我々が提唱するマテリオームは生体外メタボロームとも言え、人間の生活を取り巻く様々な物質(食物、糞尿、薬、車、飛行機、家、スマホ・・・etc.)やその変化、またお互いの関係性を総体として考えるものである。生物のメタボロームは物質を組み立てる同化経路とそれを壊す異化経路に分けられると上述したが、これを生体外メタボロームに拡張すれば、同化経路を設計図として、異化経路を破壊図として理解することが可能であろう。

生体内において、同化経路と異化経路は密接に関わっている。2016年にノーベル生理学・医学賞を受賞した大隅先生のオートファジーは、細胞が飢餓状態に陥ったとき自らを構成しているタンパク質を分解し、エネルギー源や新たな生体分子を作るための材料とする生命現象である。このことは、同化経路(設計図)や異化経路(破壊図)を別々のものとして捉えるのではなく、それらの経路の中に登場する物質同士はお互い密接に絡み合っており、あるときは機能性物質としてまたあるときはエネルギー源として二面性を持つということを理解する必要があることを示している。生物の同化経路と異化経路を2次元の平面図にまとめた代謝MAPというものがある。人間の社会活動(MONOの設計と破壊)による生体外メタボロームまで拡張したマップを作ることができれば、それがマテリオームマップ(2次元では表現しきれないため、3次元や4次元で表現する必要があるかもしれない)であり、これを理解してMONOの設計図と破壊図を作成することで、生態系のようにその瞬間に降り注いでいる太陽エネルギーのみで駆動することができる持続可能な社会が実現されるだろう。

ゲノム研究は、DNAの配列を読むことができるDNA解析装置の自動化と、それをデータベース化し解析する情報技術の開発により大きく発展した。同様に、メタボローム研究は、タンパク質などの生体高分子を分析できる質量分析装置の開発や、得られたビッグデータを解析するデータサイエンスの発展と共に急速に展開しつつあ

る。これらを鑑みると、マテリオームマップ作成のためには、まずは、様々な物質の構造、状態、機能をできるだけ短時間で解析・情報化するセンシング技術の発展が必須となる。さらに、これらの物質間の相互作用に関する情報を加え、それらを多面的観点から取りまとめるためのデータベースプラットフォームの構築も必要となるだろう。マテリオームマップを作成するために、もっとも労力が必要なことは、膨大な種類の物質と機能のデータをとり、さらにはそれらの組み合わせにより生じる物質間の相互作用を解析することである。これについては1大学や1ヶ国で解決することは不可能であるため、世界中の研究室で行われた研究成果をデータベースに登録していただく形式がとられることになるだろう。現在、世界中のバイオ研究者は、新しい遺伝子やタンパク質の構造を解明した際は、DNAの塩基配列データベース(Gene Bank, EMBL, DDBJ)やタンパク質の立体構造データベース(PDB)に登録する。最近ではこれらのデータベース間の統合の流れも進んでおり、米国のNational Center for Biotechnology Information (NCBI)では、遺伝情報やタンパク質の構造に加え、化学物質や文献情報についても情報を統合しつつある。近い将来、これらのデータベースが完全に融合することで、人間の体内で起こっている物質代謝の経路が完全にMAP化される日がやってくるだろう。

さらに、数十年のうちに、人間だけでなくマテリオームマップを構成する各ドメイン(農業、食品、医療、建築、乗り物、電気製品・・・etc.の製造や利用に関する情報)のMAPがより詳細・高解像のものになっていくことが予想される。室蘭工業大学では、この潮流を意識しながら各要素技術の開発に力を入れることで存在感を発揮することができると考えている。DNAシーケンサーや質量分析装置の原理の開発やその自動化がゲノム解析やメタボローム解析を発展させてきたように、今後、物質の構造や状態、機能をより高速で多量に解析できる分析原理やそのシステムの自動化が特に重要な鍵となる。加えて、どのようなデータベースを構築しそれらをどのようにリンク・融合していくか、物質を扱う研究者と情報を扱う研究者がより高密度に集積している本学で優位性をもって進められる研究であるかもしれない。

室蘭工業大学は、MONOづくり分野に貢献するための大学であり、今後MONO作りに関するマテリオームマップ作成への貢献と、それを活用した未来型MONOづくりスキームの開発を進めるべきである。その中でも、北海道産業の特徴であり、強みである農業・食品分野に関する物質の構造や機能をセンシングする技術開発や、それらを取り扱うデータサイエンスに注力することで、より高いレベルで地域への貢献が可能となり、北海道産品の世界への展開を後押しできるだろう。膨大な物質の構造や機能情報、さらにそのつながりから構成されるマテリオームマップを社会実装するためには、世界中から自由にアクセスできることが重要であり、マテリオームマップはクラウド上に置かれることになるだろう。その際、安全保障の観点から開示しない情報、また、知財の観点から開示しないもしくは有料で開示する情報のように、情報を区分分けすることでMONOと情報が融合した新産業を創生することも可能となるだろう。これらの情報とMONOの流れをどのようにコントロールすれば、人類がより豊かに暮らせ平和な世界につながるのか、ビジネスだけではなく幅広い視野からの検討も今後必要となるだろう。

(4-7) 北海道への貢献から創造する学術基盤—2:ID認証

全国民にIDをつけるという営みは多くの国で昔から行われている。有名なのはアメリカのSocial Security Numberやインドのアドハー番号、スウェーデン、ノルウェーのPINなどであるが、いずれも税金徴収の不公平さ解消と福祉の効率的な運用には欠かせない物である。IDをつけるのは人だけでなく、デジタル革命と相まって、同じような物が容易に複製でき、また一方で著作権のようにオリジナルを作った人へのリスペクトが求められる今非常に重要である。さらに再利用や活用を効率的にする観点からもIDへの期待が高い。

ここではモノあるいは電力などにIDをつける意味と運用基盤となり得るブロックチェーンに関して述べたい。多

くのものデジタルデータとしてIDをもって流通する時代を考えるとその管理も重要になる。現在は政府や大企業を信じて、そこで発行されたIDを信用して、パスワードなどのセキュリティを併用して対応しているが、長期的に見るとなかなか難しい。今でも毎年のように大量のID等の保管されたデータベースの中身が流出しているのがニュースになる。これらに変わるシステムがブロックチェーンである。ブロックチェーンの技術もまだまだ発展途上ではあるが、従来のデータベースと根本的に違うのが、権威の源が政府とか企業ではなく、コード(Code)そのものである点だろう。別の言い方をすればアルゴリズムそのものが権威の対象あるいは信頼の源になっている。そのため、いったんブロックチェーンの中に入ったデータの真正性は原理的に守られるのである。その中身を改ざんすることが極めて困難である。



図 4-4 ブロックチェーン技術の進展

現在は本来データベースでも実現できるようなサービスに対してブロックチェーンを用いるとどうなるかというプライベート型の試行が多い。一つにはまだまだ周辺技術が追いついていないことがあげられる。昨年あたりからはLayer2と呼ばれるブロックチェーンの足りない機能を一部代替するようなアプローチやDID(Decentralized Identity)と呼ばれている現在の政府や企業が担っているID発行システムに代わる非中央集権的なID管理システム、さらには従来のファイルシステムとは全く違った発想のIPFSと呼ばれるハッシュ関数をアドレスとして使うシステムの提案などが出てきている。これらを応用してブロックチェーンらしい世界がようやく構築できそうである。

これまでの大量消費時代では、多様性は無視され、同じ品質で安価ということが重要視されてきたが、今後はそれぞれの個に適合するモノやサービスが求められる。それを実現するためには人やモノ、エネルギーなどのID体系と必要なモジュールのトレーサビリティ、さらには利用した後のCO₂の制御やリサイクルのための処理などLife Cycleを意識した環境負荷が限りなくゼロになるような方策が求められる。そのためには手間を増やすことなく最適な処理を必要な時に可能となるような仕組みが必要である。IDとブロックチェーンはそのためにも欠かせないアイテムになるであろう。

「北海道 MONO づくりビジョン 2060」策定のための賢人会議

議長

丹保 憲仁

議員（五十音順）

石井 吉春

岩瀬 公一

上杉 真

高井 修

田中 義克

橋本 哲実

檜森 聖一

室蘭工業大学

北海道 MONO づくりビジョン2060 起草委員会

有村 幹治

市村 恒士

内海 政春

亀川 厚則

河合 秀樹

岸上 順一

郷路 健二

小室 雅人

齊藤 雅利

柴田 潤

清水 一道

辻 寧英

寺本 孝司

徳樂 清孝

富谷 信之

橋本 明子

船水 尚行

吉成 哲

渡邊 真也