

# 数学月間活動から見た教育数学

(元)リコー中央研究所 谷 克彦 (Katsuhiko Tani)

## 目次

- 1 数学の周辺. 特に基礎科学
  - 1.1 数学の源泉
  - 1.2 外界を知る手段としての数学の発展
- 2 数学月間活動
  - 2.1 数学と社会の架け橋
  - 2.2 米国MAMの状況ーレーガン宣言から始まったー
  - 2.3 MMPに見る英国の状況ー数学文化涵養の伝統ー
    - 2.3.1 MMPとは何か?
    - 2.3.2 数学を助けて! Plusマガジン37号(2005年12月)より
- 3 科学技術のシビリアン・コントロール
  - 3.1 トランス・サイエンスは他山の石
  - 3.2 トランス・マセマティックス(数学を超えて)としての数学月間
- 4 教育数学に何を反映させるか
  - ・資料1~3
  - ・参考文献

- 1 数学の周辺. 特に基礎科学
  - 1.1 数学の源泉・・・[1]

数学は応用にその起源を持つ. ナイル川氾濫後の耕地測量やギリシャのデロス島のアポロン神祭壇の倍積問題などそのような良く知られた例だ. およそ5000年前, エジプト, メソポタミアに発した数学課題は, ユークリッド幾何学や無理数, ....の発見へと続く. ピタゴラス派により演繹法も確立した. 数学課題を追求していくと, その数学的本質が抽出され, 純粋な数学理論体系が発展していった. 数学理論の探索は, 本質の追及であるべきで, 応用によりその探求進路がゆがめられたりはしない. かつての整数論, 素数などの”数学のための数学”に見えた研究が, 今日にいたって公開暗号の基盤として役立つことになるとは, 誰が想像したのだろうか? 結晶構造解析の基盤となる壁紙模様や結晶空間群論は, X線の発見以前の19世紀になされた. ペンローズのタイル張りは, 準結晶の発見される以前になされ

た. 非ユークリッド幾何学の研究に発したリーマン多様体が, 重力場の宇宙空間の記述に使われる。「数学は物理学で必要となるものを見越して, 100年も前にそれを用意している」[2]. 巨人の肩の上の小人は, 巨人よりも遠くを見ることができる. ニュートンの言葉を引用しよう:

「もしも私が, ほかの人たちよりわずかでも遠くを見たとすれば, それは巨人たちの肩の上に乗っているからなのです」(1676年2月5日のフックへの書簡)

このように, 基礎科学の発展に必要とされる数学が独自に用意されていたという演出は, まことにドラマティックだ. しかし, その段階で必要な数学が手品のように出現したわけではなく, その数学の源泉には, やはり語るべき背景がある. すなわち, 数学と基礎科学は, 密接に牽引しあいながら発展してきた. それに必要となる数学が, どのように開拓され来たったか. その源泉を見るのは興味深いものであり, 教育的でもある.

## 1.2 外界を知る手段としての数学の発展・・・[3]

我々は感覚(センサー)により, 森羅万象を知ることができるが, 森羅万象を動かしている外界は, 感覚では知り得ず数学の力により初めて知られる.

始めに, 外界についてのクラインの言葉を引用しよう:

「感覚では知り得ない外界がある. 数学の目標は, 感覚では知り得ない外界を知ることである. そこから予想もしなかった知識, 時には感覚と矛盾するような知識が引き出される. それは物質界の知識の精髓であり, 感覚をはるかに凌駕している」[4]

例えば, 天体の運行を調べて, それを支配している外界の原理を知るには, 数学が必要で, これは, ニュートン自身が開発した微積分を用い完成される. すなわち, 運動方程式と万有引力の式から, 2体問題なら, すべての運動軌道の説明ができた. 巨大な宇宙の星雲の運動から, 分子の集合である気体の圧力などの巨視的性質まで, 宇宙のあらゆる力学現象(粒子間の相互作用は無視)を説明し, ニュートン力学と電磁気学(マクスウェル方程式)の2つのパラダイムにより, 森羅万象の外界が解明できたと思われ19世紀が終わった.

この時代は, 数学と基礎科学は表裏一体で, ニュートンは数学者でもあり物理学者でもある. オイラーも同様である. ニュートンのプリンキピア(1687年)は, 「観測できる事物の因果関係を示す」という立場を堅持している. 引力がなぜ発生するかは言及せず, 従って仮説は何もない. これが, 今日の科学的方法論の手本であります.

ポアンカレは, 「科学と仮説」で, 数学の役割を次のように明快に述べている: 「数学的理論は事物の本性を我々に解き示すことを目的とするものではない. . . . そのただ一つの目的は実験が我々に知らせる物理法則に定まった場所を与えることである」(第12章, 光学と電磁気)[5]

数学と自然科学の違いは、数学は観測事物にこだわらず、どのような仮定から数学的理論を構築してもかまわぬ所にある。例えば、「引力が距離の逆3乗に比例する」として理論を構築することも価値があり、非ユークリッド幾何学は数学として構築されたが、今日の宇宙論では実在性をおびる。

20世紀には、物理と数学の分化が起こる。数物学会が、日本数学会と日本物理学会に分かれたのは1945年のことである。

R.クーラントは、「数理物理学の方法」の序文(1924)で、次のように警鐘をならしている:「...多くの数学者は物理学その他の分野との関連を見失い、一方、物理学者は数学者の関心と問題意識、その方法と語法が理解できなくなっている。これでは、科学の発展の流れは次第に細かく枝分かれし水量を失い、ついには干上がってしまうであろう...」[6]

数学理論は、贅肉をそぎ落とし、その本質を磨き上げる。抽象化され構造化された数学は美しく完璧である。しかし、数学教育で、構造化され完成した数学を教えるのはどうであろうか。一般の学生が学習するには、出来上がった抽象的な数学はとっつき難い。数学を学習する一般の人は、出来上がった数学よりも、周辺から数学を見る、あるいは、「数学の周辺まで視野を広げ、数学を俯瞰する」ことに魅力を感じるであろう。その数学概念の源泉(あるいは応用分野)を知ることは、数学学習へのモチベーションの高揚、数学概念の理解に直結するからである(注1)。

(注1)=====

離散数学、情報理論、グラフ理論、確率理論,...今日のコンピュータ社会を支えている数学の歴史を振り返ったとしても同様であろう。超関数は物理で現れる不連続な関数を安心して扱うことを可能にし、フーリエ変換は、物理学の種々の分野に感動的に現れる。群論や対称性は、環境と法則の因果律”保存法則”の理論基盤である。対応や写像を用い、全く関係のない分野の構造を、既知の分野の構造に映して理解をすることを可能にする。数学概念は、物理学はもちろん、とりわけ、文科系科学に対して、唯一といえる強力ツールである。

=====

## 2 数学月間活動・・・[1]

### 2.1 数学と社会の架け橋

数学は、種々の分野で応用され社会を支えている。だが、それが見えない。「数学なんて生活に役に立たない」と言って数学を避ける。文科系は数学嫌いでもいいと誰が決めたのか。ジャーナリストや評論家が、「数学は嫌いだ。苦手だ」といって憚らない。文字を読めないのは恥だが、基本的な数学が出来なくても恥ではないとする社会で、論理や正義が守られるわけがない。今回、福島で起きた原子炉

事故の報道をみても、ジャーナリストの恐るべき科学知識のなさに唾然とした。

イギリスのMMP[10]にも、同様な数学の危機が語られている。しかしながら、英米には、数学の啓蒙が出来る優れた数学ジャーナリストを輩出している。本稿に引用したサイモン・シン(英)、マルコム・E・ラインズ(英)、古くはマーティン・ガードナー(米)などだ。イギリスで実施中のMMPには、良い啓蒙記事のコンテストがある。米国のMAMにも、良い記事を書いた数学ジャーナリストの表彰がある。これらを見ても、英米に優れた数学ジャーナリストが現れる文化風土があるのが納得される。

数学月間活動(注2)の趣旨は、数学が種々の分野に影響を与え、「数学が社会を支えている」ことを、専門家でない一般の人に説明することにある。数学嫌いの一般の人々が、数学は知的遊戯で、生活には関係ないと思っているとすれば、その誤解を解かねばならない。

生活に無縁と思っていた数学が、「身近に役に立っている」と知るのが、“Maths Awareness=数学に共感を持つ”に直結するだろう。これは、数学をわかりやすく解説するという、啓蒙型活動である。逆に、社会の人々が数学に、「どのようなことを望むか」を、数学者の側も学ばねばならない。これも“Maths Awareness”である。これは、双方向型(あるいは対話型)活動になる。

啓蒙型には、19世紀に行われた、王立研究所のファラディの講演などが思い浮ぶ。双方向型は、今日のサイエンス・カフェ活動などに見られる(注3)。私が参加したある会合では、20人程度の参加者と講演者が同じ土俵で話し合う。専門家と素人が話し合うので、専門用語は一切用いずに、日常語で話し合うルールであった。MMP(英)やMAM(米)では、このような双方向型を重視している。科学者(数学者)の責務に、一般市民とのコミュニケーションや教育が含まれるからである。すなわち、「一般市民が科学技術(数学も)に、何を求めているかを汲み取り研究に反映させる」ことが、科学者(数学者)の責務であるからだ。これに関しては、次章，“3. 科学のシビリアン・コントロール”の項で詳しく論じる。

(注2)=====

日本数学協会は、2005年(戦後60年)に、7/22~8/22(≒ $1/\pi \sim 1/e$ )を、数学月間と定めた。この期間には、8/8[パチパチで算盤の日]も含んでおり、学校の夏休み中でもある。

数学月間の会(略称:SGK, 発起人:片瀬豊)は、この期間に、数学的行事を行うことを呼びかけており、数学月間懇話会(毎年7/22)などの活動を行っている。

詳細は、SGK通信をご覧ください:連絡先(世話人) sgktani@gmail.com

日本数学協会<http://www.sugaku-bunka.org/>の数学月間の会にあります。

=====

(注3)=====

日本でもこのような議論が、2005年以降現れる。国立大学の独立行政法人化(2004)以降、産学連携の推進が起こる。日本では、2002年から、21世紀COEプログラム(最先端の数学研究の拠点作りを指向し、“競合・重点化”の思想から発している)による最先端の融合研究[7]、インターン・シップ[8]が成果を挙げている。大学を拠点として、市民参加によるサイエンス・ショップ型研究、地域活性化研究なども増加している。

スーパー・サイエンス・ハイスクールSSHが2002年に始まった。ただし、学校数学は受験と結びつくので、日本では、“差別・排除”の根拠に見え、生徒の反感が罪のない数学に向けられがちなのが、英国と異なる欠点だ。出前授業なども盛んに実施され、私も「その道の達人」派遣事業(2003～2008年)に、万華鏡と結晶学の達人として参加した。

2005年、科学技術振興調整費(文科省)により、科学技術コミュニケーション、インタープリタの養成が、北大、早稲田大、東大でスタートした。2006年から、日本学術会議のサイエンスカフェがスタートする。

=====

## 2.2 米国MAMの状況ーレーガン宣言から始まったー・・・[1]

米国には数学強調月間Mathematics Awareness Month(=MAM)[9]がある。始めに、記念すべきレーガン宣言を(資料2)に引用しよう。

1980年の前半頃迄は、米国社会・産業の旗色が悪く、日本のTQC(注4)に学ぼうとしていた時期である。米国のMAMは、数学教育の振興のみならず、数学を社会の種々の分野の基盤に結びつけようとの姿勢が窺える。毎年、数学テーマを決めて、そのテーマのガイドとなるエッセイが作られる。テーマに関する論文・情報・教育に配慮した解説などがリンクされ、ウェブサイトから発信される。それらに関する各種教材を、全国的に配布して、数学的行事を推進している。ここでは、各年度の数学テーマの列举に止める(資料1)。最近の傾向として、コンピュータサイエンス、ネットワーク、複雑系のテーマが多い。これらは離散数学の分野に関連するものである。

次節の英国の状況も同様であるが、英米のウェブの充実ぶりには目を見張る。

=====

(注4)日本の数学者グループが開発したTQC/TQM(集団考働術)は、数学、心理学、社会学を組み合わせた巧妙な経営手法の一つで、製造業の成功遺伝子に数えられる。昨今の地方行政の革新や中小企業の活性化に、TQMは効果的ではなかろうか。

=====

## 2.3 MMPに見る英国の状況－数学文化涵養の伝統－・・・[1]

英国にも米国のMAM(数学強調月間)に相当する活動”ケンブリッジ科学フェスティバル”がある. その中に位置するミレニアム数学プロジェクト MillenniumMathsProject(=MMP)[10]を見てみよう. 「この国には, ”受験の数学”という言葉がありません. 塾も予備校もありません. 数学や科学は国を興し繁栄させたという自負と認識があり, 国民は数学や数学者を大切にします」(西山豊, 大阪経済大)というコメントは, MMPの性格を良く表している.

### 2.3.1 MMPとは何か?

MMP(ミレニアム数学プロジェクト)は, ケンブリッジ大が国内外へ発信する, 5～19歳および一般対象の数学啓蒙活動で, 1999年にスタートした. MMP”生活に数学を”において, 「我々の究極ゴールは, あらゆる年齢と能力の人々が, 数学に興味をもち, 数学の応用と日常世界への貢献の広範さと重要性の理解を助けることである」と述べている.

MMPは, 国家的(いくつかのケースでは国際的)影響力のある行事で, ケンブリッジ大の数理科学センターでの数学行事(14歳～成人対象, 土曜日開催される種々の講義など), ウェブサイトを中核とした活動の他に, スコットランドからコーンウエル, ウェールズからロンドン市内に分布する数百のイギリスの学校で, 学校訪問, 生徒のワークショップ, 教師コース, ライブのビデオ会議などの対面活動もある. 主要な活動メニューを, 以下に列挙する[11]:

◆ NRICH(=enrich: 数学を豊かに)は, 5-9歳が対象の教材(パズル, 課題, 調査研究, ゲーム)を提供する. NRICHスタッフは, 生徒のワークショップと教師コースを開催するために学校訪問もできる.

◆ Plus(数学の拡大)は, 年齢15+対象の数学, 数学の科学・芸術・社会への応用, インタビュー, レビュー, ニュースなどを載せたオンライン・マガジンを提供する. Plusには, デジタル経歴ライブラリーがあり, 数学学習により門戸が開かれる非常に多様な分野の雇用インタビューがある.

◆ Motivate(動機付け)は, リアルタイムのビデオ会議プロジェクト. プロの数学者・科学者(多くは大学の研究者)を, 学校の基礎カリキュラムを越えて数学を探訪しようとする小中学校に結びける.

◆ 小中学校, あるいは数学の楽しみを促進する公共イベントで実施できる手作業の数学巡業を持っている.

2004年10月には, サイモン・シンの非常に人気のあるエニグマ講習会を実施した. WW2エニグマ・マシーンを持って学校を訪問. 8～18歳の学生が数学を体験できる暗号解読ワークショップ.

◆ 小中学生および一般大衆に対し、ケンブリッジで開かれる無料のポピュラー数学講義の企画.

◆ ケンブリッジ大学生ボランティアを、数学・科学の教育支援に、地方の小中学校に派遣する激励プログラムの企画.

### 2.3.2 数学を助けて！ Plusマガジン37号(2005年12月)より

イギリスでも数学離れがあるようで、その原因を多角的に論じている[12].

#### (1) 数学は”おたく”のためか？

イギリスの数学が危機だ. 数学で評価Aを取る学生数の減少が続いている. 数学科卒業生が不足していて、産業界や学会の要求を満たせない(数学財団の将来に対する悲観的予測). 問題は、数学が退屈で無益に見えることと、産業界や科学の最先端で広範に応用され高く評価されている事実との間の相剋にあるようだ. 数学のこの否定的イメージは悪循環を生む: 若者が、大学で数学を学習するのを敬遠する. やる気と知識がある教師や師範の不足を生む. さらに、否定的イメージが助長される. このサイクルを打ち切るには、如何したらいいのか?他にも原因はないか?.....

#### (2) 学校

◆ 教師達は、自分自身がその課題に熱中しているときのみ、彼らの学生を熱中させることができる. 1つの解決策は、”サバティカル”を教師に与えることだ; 教える必要のない期間は、より広い数学世界と自分とのリンクをリフレッシュし、数学の新発展、応用、キャリアに関して学ぶことを可能にする.

◆ 若年層が数学を勉強するように動機づけるのは、数学の応用と就職の見通しであると良く言われる. これは本当だろうか?多くの数学者は、数学が彼らの心を奪うのは、概念の美しさ、および哲学と同じ”真実”の探求だからと言う.

私たちは、対象の異なった側面が、異なった学生を奮い立たせ、数学に向かわせることを、認める必要がある. 学生の多くに、数学を学び続けさせるには、数学の実用的な様相と哲学的美的な様相の間を、バランスよく教えることが必要だ.

◆ すべての学生が、数学のために数学を研究したいというわけではなく、学校か大学で、他の対象の研究を続けようと思っている. 数学は、自然科学すべての言語であるが、社会科学にも盛んに使用されるようになったし、視覚芸術、ビジュアルアート、音楽、哲学でも、正当な居場所を得ている. このメッセージは、全分野に横断的に伝えられているだろうか?あるいは、学生の逃亡を恐れて、数学はシラバスから削減されよとしているか? 数学は、他の学科に再注入されるべきだろうか?

◆ 物理学や経済学などを研究しようとしているAレベルの学生で困るのは、非常に

高度な数学が必要になるのに、それに気づいていないことで、最近の研究から、これが明らかになった。学生の認識を改良する責任は、教師のみにあるのではない:就職アドバイザーの役割も非常に重要だ。多くの就職アドバイザーが、数学科卒業生に開いている雇用機会に関して、誤った情報を提供したことが示唆される。彼らは総合的な訓練を受ける必要があるが、これは、彼らのみならず、雇用主と数学界全体にも必要である。

### (3) 大学——”チョークとトーク”からの脱却！

◆教授スタイルと内容が、学校でしらせさせるものであるなら、それは大学の数学の学生にとって一層問題である。研究は大学で肝心である。研究時間がほとんど残されていないのに教えて、増加する管理タスクを強いられている。この環境の中では、教育は路傍に押しやられてしまう。

いくつかの数学部門では、新進の講師(博士課程学生や博士号取得後の研究者など)が、講義に対する準備の訓練を受けていない。多くの大学教育が、人々が古風であると思う「伝統的な教授法(チョークとトーク)」になる。応用、文化的背景を描くことは、講義から除外されることが多い。では、講師を管理の役割から解放し、教育を授け、システムにより多くの資金をつぎ込めば、大学の授業の品質改良には十分だろうか?.....まだある....

◆あなたがパーティーで誰かに、数学者だと言った時、「世の中のすべての数学は既に解決されたと思った」という応答に良く出会う。ほんとうは、数学研究は非常に活発で、多くの数学者が、薬学、物理学などの他の領域の最先端の科学者と共に働いている。数学の大学生は、しばしば、国際的な科学者から教えられる。大学生を学校に派遣するUAS,STIMULUSなどの大使計画は、大学数学の彼らの経験を分かち合えるので大成功であった。

これらの計画を展開し、学校と大学の協力をさらに進めることは、大学での数学研究とは何なのかを学生に明確に気づかせるのに役立つだろう。特に公的資金を受ける研究者には、自身の役割がある。彼らは、社会に数学の認識を提起する責任があり、彼らの研究を一定レベルで一般に伝えるべきだ。

数学そのもの、あるいはその可能な応用について説明することにより、公衆、特に学生を、今なされている研究に感心を持たせる。これは、彼らの数学への認識を変え、より多くの数学学生を惹きつけるための偉大な一歩であろう。

### (4) 雇い主

◆近年、いくつかの数学科で、雇用向けの特定数学コース、例えば「調剤セクター向けの統計」などを、学生不足でやめざるを得なかった。しかし、訓練されている卒業生を見て、雇い主はこれらのコースを高く評価している。実際、熟練した数学卒業生の不足では、雇い主から苦い苦情がある。この不足は、イギリス外から専門家を輸入できないなら、その不足対策に取り組まねばならぬ。



◆雇い主は、どういう人々を、何のために必要とするかを良く知っている。もし、彼らが学校や大学ともっと密接に活動し、例えば、公開日活動や若手専門家に話をさせるために学校に派遣するとかすれば、雇い主は、学生、教師、および就職アドバイザーに、数学に門戸が開かれている雇用の多様さを気づかせることができるであろう。

#### (5) 政府

◆政府は問題に気づいているようだ。そして、「数学科学の卒業生の供給の増加」のようなプロジェクトが始まる。しかし、多くの人々は、もっと具体的な動きを探している。基金は、政府に属する主要課題の一つだ。指摘された点の多くは、資金に依存する。受講人数にかかわらず、大学は、「調剤セクターのための統計」などの雇用の特定数学コースを続けられる程度の基金は受けるべきだ。費用がもう少しあれば、教師と講師の仕事量を減らすために、学校や大学が、管理スタッフを雇うことができる。……

◆成績管理も同様に異論のある問題だ。試験の成績に基づく成績表は、多くの人より、教室活動の粗雑な測定と考えられている。Ofsted(訳注: Office for Standards in Education) 監査のために、何人かの教師は神経衰弱の瀬戸際に置かれることが知られている。それは確実に反生産的である。政府は、評価の方法を詳細に調整する必要があるだろう。

#### (6) 両親と一般

◆両親は、学校で学ぶことに関する学生の知覚に、大きな影響を与える。教師によると、両親は、しばしば、子供の数学に対するネガティブな態度を助長する:彼ら自身が数学が学校で嫌いだったら、子供らに数学を強いようと思わない。両親の中には数学の悪い成績が問題であると考えない人もいる。

◆ワークショップの参加者の1人が指摘したように、ほとんどの人々が読むことができないのを認めると当惑するが、基本的な数学ができなくても全く恥入らない。両親、および一般公衆は、数学を、読み方と同じように、基本的な生活技能で教育の必須項目とみなす必要がある。問題は、数学の修行ができた卒業生の就職見通しと、日常生活にの数学の重要性に関する無知だ。

#### (7) メディア

◆メディアには、公共の知覚の”てこ”の作用がある。数学者は、本流メディアにめったに現れることはない。登場しても、魅力的には見えない。薬学、天文学、および工学などと異なり、数学の最新のブレークスルーは、新聞報道されそうにはない。

数学者と数学の表現を改良することができるだろうか?主流のメディアが、善意からこれをするのは期待できない。メディアは彼らの読者と聴視者に対しアピールのあ

るものを必要としているのだ。卑屈にならずに、数学をカッコいい「格好いい」ものにする方法は如何に？それとも、数学共同体の私たちは、高潔に留まり、メディアが取り上げるまで待つべきか？

◆個々のジャーナリストとプログラマーを含むメディアは、難解な研究の様相を取り上げるのと同様に、私たちの日常生活での数学の影響力を意識する必要がある。数学は、わずかのエリートによって追求されたある種の魔法としてより、創造的な勤勉な実社会の人々による人間の活動として提示される必要がある。

### 3 科学技術のシビリアン・コントロール

#### 3.1 トランス・サイエンスは他山の石

啓蒙活動で、わかりやすい説明を山積みしたとしても、人々の視点が異なれば理解は得られない。人々の関心事＝”どのような社会に生きることを望んでいるか”を、専門家が理解し、研究を進める必要がある。トランス・サイエンス(科学を超える領域で判断する)の時代である[13]。

遺伝子組み換え作物, BSE(狂牛病), 原子力発電, 地球環境問題などで, そのようなことが必要になっている(注5)。これらは, 科学で結論のでる問題ではない。ポスト・ノーマル・サイエンスの領域[ラヴェッツ(1999)]とも呼ばれる。

システムが巨大化し, その科学的解明が未だ不十分, あるいは検証不可能であるか, 安全やリスクの検討に確率論が関与する領域だ。アルヴィン・ワインバーグ(米国の核物理学者, オークリッジ研究所長)は, このような科学が答えることのできない問題の領域を, トランス・サイエンスの領域(1972)と呼んでいる[13]。

運転中の原子力発電所の安全装置が, すべて同時に故障した場合(同時多発事故), 深刻な事故が生じる。このような事態が生じる確率は非常に低い, 起こる可能性はある。その確率を安全と見るか危険と見るかは, 科学を超えるトランス・サイエンスの問題である。不幸にして, 2011.3.11に巨大地震を引き金にして, 福島原子力発電所でこのような事故が起こった。巨大地震の警告, 計画した耐用年数を延長した旧型(GE製, MarkI), 稼動条件を緩和してMOX稼動を開始(2010,9)した行政, 御用学者, 批判を封じたマスコミの罪は重い。

私は, トランス・サイエンス活動の原点を, 宮沢賢治の羅須地人協会に見出す。賢治は科学を愛し, 科学と賢治は一体であった。農民芸術概論の中で, 「宗教は疲れて近代科学に置換され然も科学は冷たく暗い」と述べ, 「我々に必要な科学(数学も)を, われわれのものに」と実践活動を始める。賢治の羅須地人協会活動の投影を, 高木仁三郎の原子力資料情報室(1973～)[14]活動に見る(資料3[15])。高木仁三郎は以下のように語る:

「環境というものは実験室と違って, ものが生きている場だ。草が生え, 鳥が舞い, 私たちが呼吸をし生活をしている。プロの科学者の立場でなく, 一個の生命の立場から物が見えてきた」[16]

原子力発電を稼動すると、核分裂により莫大な放射性廃棄物が生じ、核種によりその寿命は異なるが、半減期が何万年というものもある。地中深く埋めればよいというものでもない。崩壊の寿命を減らすための核転換技術は、夢のまた夢で実現できそうにない。自然科学の現象を法律で止めることはできない。

再生可能な太陽エネルギーの範囲で生きようとする選択を押しつぶし、「年年歳歳花あい似たり」と、決して疑わなかった故郷や生態系を変貌させた。

賢治が、「日照りのときは涙をながし/寒さの夏はおろおろ歩き」したように。原子力発電事故を見て、科学者たちはおろおろ歩くべきである。

発癌はDNA鎖が切断され、それが誤復元されるときに生じるので、確率的現象である。低被爆線量による発癌確率は総被爆線量に比例し、安全閾値は存在しない。被爆規制値は法律のためのもので科学的結論ではない。それでも、「規制値は遵守されているから安全だ」と行政は言い張る。これは、科学ではなくトランス・サイエンスの領域であり、片棒を担ぐことで、科学の信頼を落としてはならない。

古典数学は、決定論の世界で、数学で正確な解答を得ることができた。しかし、現代は、不確実の時代で数学者もトランス・サイエンス(マセマティックス)に無縁ではいられない。真のモデルなど存在せず、演繹できる真理のない世界では、現象やデータに基づいてモデルは構築すべきもので[17]、それは真理とは限らないサイバー世界である。

計算された数値は一人歩きし、数学で解答が得られない問題を、あたかも数学で厳密に解答が得られたように利用される。私たちの感じるリスクは、個人で制御できないもの・選択の余地のないものは高いスコアにするべきだ。客観的なスコアがあわないと感じることは多い。また、発癌確率という数値も、没個性で冷たく思える。確率は低くても、影響を受けて癌になる人は必ずいるのである。数学(正確には数字)が、我々の心に冷たく感じられる。数学の社会的信頼を失ってはならない。

(注5) 双方向コミュニケーションの先進国－英国=====

1990年代、遺伝子組み換え農作物をめぐる論争は、純粹に科学的な問題だけでなく、多国籍企業の種子が、自国の農業を変える懸念が背景にある。

BSEでは、政府および専門家が、人間へのBSE感染は可能性は低く、食べても安全だというキャンペーンを繰り返したあげく、1996年に撤回せざるを得なくなった。かくして、政府や科学者への信頼は崩壊し、科学技術への敵意まで生まれた。セラフィールド核燃料再処理施設の問題もある。英国上院の科学と技術特別委員会は、いち早くこの事態を認識し、「科学と社会」報告書(2002)を出している。英国でも、さまざまな組織に残っている秘密主義が障害であるようだ[13]。

=====

### 3.2 トランス・マセマティックスとしての数学月間

今年(2011年4月)のMAMのテーマは、複雑系である[10]. はからずも、巨大地震, ツナミ, 原発事故の連鎖が惹起した日本にとって、現実的なテーマとなってしまった. 複雑系の概念は, 1980年後半に, サンタフェ研究所(ロス・アラモス研究所のスタッフが設立した)から生まれた.

リンクされているエッセイを3つほど引用しよう:

#### (1) 感染症伝染における住民の相互作用[18]

ロス・アラモス国立研究所で, 2億8千万人を越す合成人口(住人)をつくり, シミュレーションを行い, 種々の有用な結果を得ている. プライバシーの理由で, 国勢調査局は, 完全な記録データの公開ができない. そこで, 知りうるデータすべてに合致するような, 合成人口をつくる必要があるのだ. 大量データの解析の範疇にある.

#### (2) 大惨事が惹き起こす経済的インパクト[19]

大惨事はいろいろなインパクトを生じる. 負傷や死, 道路, 建物や他の社会基盤への損傷, 影響を受けた地域内外の経済活動の混乱. 多くの場合, 大惨事の経済的インパクトは, 物理あるいは経済ベースのモデルに基づきなされる. 物流および中断される地域の経済活動の必要なサービス(例えば, 電力, 遠距離通信, 輸送)の中断である. 米国では, ハリケーンなどを想定しているが, まだシンプルな試みで, 今回, 日本で起きた地震, 津波による被害(25兆円を超えるといわれている), あるいは, 原発事故による広域の長期にわたる被害損失に, 適用できるほどには至っていない. 最初のイベントから回復までの複雑なダイナミックスを扱える”インプット-アウトプット法”が, 紹介されている. 数学的には線形代数の範疇である.

#### (3) 大規模停電を惹き起こした失敗のなだれ現象[20]

失敗のなだれ: 送電網における大停電の極端な特徴

2003年8月14日, 午後1時42分, 米国の中西部の独立システムの送電網オペレータは, ルイビルの子会社と電気のオペレータへ, 「おい、何してるんだ?」と呼びかけた. その2時間半後に, 北東合衆国から南東カナダの5千万人の停電が起こる. 3年後の2006年11月4日, 夜の9:30に, ドイツの送電網オペレータが, クルーグ・ボート”ノルウェーのパール”の安全通行を許すために, Ems 川をよぎる1対の配電線の接続を切り, その半時間以内に, 1千5百万人のヨーロッパ人が暗やみに座ることになる.

米国中西部で起きた比較的日常的な些細な問題や、ドイツにおけるクルーズ・ボートを通過させることが、世界の最も技術的に進歩した社会を支える電気基盤を、完全に麻痺させる事故の引き金にどうしてなるのであろうか？ 電気エネルギーは、近代的な社会のほとんどすべての様相で重要であるから、なだれのような連鎖が起こす事故を理解することは非常に重要である。

送電網が複雑系であることは、皆認めるだろう。その部分部分を見ることでは、送電網を完全に理解することはできない。ここで定義する送電網は、物理的基盤、人間個人、組織のすべてを含み、電気の生産、分配、消費が組み合わされた複雑系である。国際金融のシステムのように、送電網は、何百万という物理的な(ハードウェア / ソフトウェア)と人間エージェントによって操作される。

インターネットと同じように、送電網はしばしばランダム事故と悪意ある攻撃の両方にあう。ハリケーン形成と相互作用している気象域のように、要素の間、および、要素と社会との間に、強い非線形の関係が存在する。電力システムは、時折、甚大で高価な事故を起こす。

一般の複雑系、とりわけ送電網における事故のなだれの数学的特性に焦点をあて、これらの事故の解明をする。特に大規模送電網の事故のなだれのリスク測定を試みている。事故のなだれのリスクに関して、送電網オペレータにもっと良い情報を提供できるかもしれない。

原発の安全系は、多重防護システムであるが、今回は、地震・津波により、同時多発故障が起き収拾がつかなくなった。起こる可能性の低いものは切り捨てられた仕様で、システム設計がなされたので、設計条件を超える苛酷事故には無力であった。このような数学は、ヒューマンエラーにも強いシステムを作ることに直結し、現代社会で重要である。

原発事故で放出された放射性物質は、風や大気の大循環に乗り運ばれる。降雨は、土壌、深層地下水に浸透し、海洋の汚染が進行する。さらに食物連鎖による生態系の汚染は深刻である。これらのシミュレーションも、早急に研究する必要がある。

今回の福島第一原発から放出された放射性物質が、風により拡散する様子のシミュレーション結果が、ドイツ気象庁のウェブ・サイト[21]に常時公開され、たいへん有用であった。日本にも、SPEEDI(=緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム、文科省)というシステムがあるにもかかわらず、残念ながら、この原稿を完成した時点(3月30日)でも、結果の公開がない。

これら社会的に重要である課題に、数学は取り組むべきである。そのようなテーマは、教育数学にも、何らかの形で反映されるべきであろう。これらは、教育数学の分野としては、線形代数、確率統計、微分方程式であったりする。また、カオス、分岐理論、構造安定性などの概念も複雑系にかかわりがある。

#### 4 教育数学に何を反映させるか

本研究集会で、離散数学を取り入れるかの議論があった。

大学初年度の基本的な数学カリキュラムは、1. 線形代数、2. 微分・積分、3. 複素関数論、4. 確率・統計、が中心であり、確かにこれらは、どれも減らすことのできないカリキュラムである。今日、社会的な要請のある離散数学を取り入れるために、これらの4つの体系のどれかに属させる手法をとるならば、線形代数の中におくか、確率・統計の中にも、微分・積分の中にも分散させることになる。

しかしながら、離散数学を本格的に扱うとすれば、なかなか厄介な問題である。今日社会を支えている数学(コンピュータのアルゴリズム、大量データの解析、グラフ理論、モデリング、複雑系、...)— 離散数学は重要な分野に広がりつつあり、教育数学にある程度反映させる必要があると考える。一方で、古典数学を核とした教育数学を捨て去るには忍びない。今日、mathematica等のパッケージ・ソフトウェアの発展普及があり、理工系学生は高度な数学を利用しても、古典数学を避けることができる。あるいは、今日の社会には、定義不明な問題の重要性が増加しており、これらに古典数学を適用するのは困難である。従って、古典数学の枠組を脱し、新しい教育数学(離散数学のイメージ)が必要であると感じる。一方、古典数学が人間の思考の訓練に必要なことも確かである。「物理法則の定式化における数学言語の適応性は奇跡的」ユージン・ウィグナー(1960)というように、森羅万象の本質の記述は、いつも数学でなされるからだ。さらに議論が必要だ。

参考に、スタンフォード大で、1970以来行われている”Concrete Mathematics”を見てみよう(注6)[22]。ここに、コンピュータ科学の基礎となる離散数学を基礎にした数学再構成の一つの試みを見ることができる。

同書の著者は、序文で以下のように述べている：

”Concrete Maths”は、”Abstract Maths”の解毒剤として企画した。具体的な古典数学の結果は、急速に発展したNew Mathsにより、現代数学のカリキュラムから失われた。抽象数学は、完全で、美しく、一般化されている。抽象数学の信奉者たちは、その他の数学が劣っており、もはや注目に値しないと信じている。しかし、一般化の行き着く先は、数学者の次世代が、美しさを楽しんだり、問題を計算する楽しみ、テクニックの価値を味わう暇がないほど急速で、抽象数学の発展により、現実との結びつきが失われた。数学教育の健全性を保つためには、”抽象性”のカウンター・バランスとなる”具体性”を必要とする。

(注6)=====

CONCRETEとは、CONTinuousとdisCRETEから作った造語である。いわゆる”Discrete Maths”とは異なるので、”Concrete Maths”と名づけた。

=====

(資料1) MAW(1998まで)/MAM(1999以降)の年度別テーマ

2011	解明進む複雑系	1998	数学と画像処理
2010	数学とスポーツ	1997	数学とインターネット
2009	数学と気候	1996	数学と意思決定
2008	選挙の数学	1995	数学と対称性
2007	数学と脳	1994	数学と医学
2006	数学とインターネット保全	1993	数学と製造業
2005	数学と宇宙	1992	数学と環境
2004	ネットワークの数学	1991	数学----それが基本
2003	数学と芸術	1990	通信数学
2002	数学と遺伝子	1989	発見のパターン
2001	数学と海洋	1988	米国数学の100年
2000	数学は全次元に	1987	美と数学の挑戦
1999	数学と生物学	1986	数学----基礎的訓練

(略語表)

MAM: Mathematics Awareness Week

MAM: Mathematics Awareness Month(4月)

AMS: American Mathematical Society 米国数学会

MAA: Mathematical Association of America 米国数学協会

SIAM: Society for Industrial and Applied Mathematics 工業応用数学会

ASA(注\*): American Statistical Association 米国統計学協会

JPMB: Joint Policy Board for Mathematics 米国連結政策協議会

(注\*) 2006年から、ASAが加盟することになった。

ほん

アメリカ合衆国大統領による宣言5461 - 「国家的数学強調週間」1986年4月17日

宣言

(National Mathematics Awareness Week)

およそ5000年前、エジプトやメソポタミアで始まった数学的英知は、科学、通商、芸術発展の重要な要素である。ピタゴラスの定理からゲオルグ・カントールの集合論に至る迄、目覚ましい進歩を遂げ、さらに、コンピュータ時代到来で、我々の発展するハイテク社会にとって、数学的知識と理論は、益々本質的になった。

社会と経済の進歩にとって、数学が益々重要であるにも拘わらず、数学に関する学課が、米国教育システムのすべての段階で低下する傾向にある。しかし、依然として、数学の応用が、医薬、コンピュータ、サイエンス、宇宙探究、ハイテク商業、ビジネス、防衛や行政などの様々な分野で不可欠である。数学の研究と応用を奨励するために、すべてのアメリカ人が、日常生活において、この科学の基礎分野の重要性を想起する事が肝要である。

上院の共同決議261で、国会が1986年4月14日から4月20日の週を、国家的な数学強調週間として制定し、この行事に注目する宣言を出す事を大統領に要請した。

今日、アメリカ大統領、私、ロナルド・レーガンは、1986年4月14日から4月20日の週を国家的数学強調週間とする事を、ここに宣言する。私は、すべてのアメリカ人に対して、合衆国における数学と数学的教育の重要性を実証する適切な行事や活動に参加する事を勧告する。その証拠として、アメリカ合衆国の独立から210年の西暦1986年の4月17日、ここに署名する。

ロナルド・レーガン(Ronald Reagan) 「1986年4月18日、午前10時43分、連邦登記所に登録された」

宮澤賢治をめぐる冒険

高木 仁三郎著



本書は、著者の二つの講演(第一話、第二話)と、結言となる第三話より構成される。

第一話は「賢治をめぐる水の世界」。賢治作品の多くで、水が重要な役割を担っている。著者は注目する。それは、

「プログラム」が笑ったり死んだりする川の中、銀河や太陽、気圏などと呼ばれた世界の空から落ちた雪のひとわん、愛の妹トシは手の

届かない所へ行ってしまったけれど、トシと自分はこの宇宙の中でつながっているはずだ、という賢治の思念は、「銀河鉄道の夜」に結実している、と指摘する。地球は「水の惑星」と呼ばれ、水の存在こそが地球に生命をはぐくんできた

「科学者の出発点」説く

私も賢治の地学にふれ、次のように書いたことがある。 「霧の中を歩いてらん。木の葉のにおいがする。自分はその大気を吸い込む。自分のはいた空気を植物が吸い込む。自分と植物は同一の体に見えるでしょう。四次

のだが、深層地下水の汚染、酸性雨等々、人間が生きてするための環境が危ない、と呼ばれるようになる。しかし、賢治にとっての水は環境以上のものだった。それは、一つの生命から次の生命につながる流れ、宇宙全体を満たす悠久の時間の流れ、と著者は見抜く。

元宇宙の霧の中をぶかぶか漂い呼吸しているすべての生き物、きらめく気圏上層の水窒素、岩石を含むすべてが自分の体と思えてしまいたがらない」 第二話は「科学者としての賢治」。著者の高木仁三郎氏は、原子力企業の研究者として開発に加

わったが、今は反原発市民運動を手がける。冷たいプロの科学者の立場ではなく、一個の生命の立場からものを見る。科学者も、まず人間として涙を流し、オロオロ歩くところから出発しようとする。高木氏は自分の科学者としての人生を、賢治の「羅須地人協会」へ投影し、賢治の心を解明してみせる。私は、本書の視点到共感を覚える。科学を人間的な場に引き戻そうとした賢治の冒険「羅須地人協会」は、現在の多くのフドリたちを受け継がれていく。

谷 克彦・リコー高度計測研究所 センター副所長 (社会思想社 二〇〇四)



## 参考文献

- [1] 片瀬豊, 谷克彦, 「数学月間のすすめ」, 数学文化, No.6, 2006, 8-14
- [2] マルコム・E・ラインズ(青木薫訳), 「物理と数学の不思議な関係」, ハヤカワ文庫, 2004
- [3] 谷克彦, 「数学と基礎科学」, 数学文化, No.15, 2011, 79-87
- [4] クライン(雨宮一郎訳), 「何のための数学か」, 紀伊國屋書店, 1987
- [5] ポアンカレ(河野伊三郎訳), 「科学と仮説」, 岩波文庫, 1966
- [6] クーラン, ヒルベルト(斎藤俊弥監訳), 「数理物理学の方法」, 東京図書, 1985
- [7] 文部科学省, 科学技術政策研究所, 「忘れられた科学－数学」, 2006
- [8] 九州大学, 他, 「広がっていく数学－社会からの期待」, 2010
- [9] Maths Awareness Month, <http://www.mathaware.org/index.html>
- [10] Millennium Maths Project, <http://www.mmp.maths.org/index.html>
- [11] 数学を動機づけるもの, <http://plus.maths.org/issue38/editorial/index.html>
- [12] 数学の危機, <http://plus.maths.org/issue37/editorial/index.html>
- [13] 小林傳司, 「トランス・サイエンスの時代」, NTT出版, 2007
- [14] 原子力資料情報室 <http://cnic.jp>
- [15] 谷克彦, 北海道新聞, 書評, 1995, 5月28日
- [16] 高木仁三郎, 「宮沢賢治をめぐる冒険」, 社会思想社, 1995
- [17] 北川源四郎, 本研究集会(2011,2,7-10)予稿
- [18] S. Y. Del Valle and J. P. Smith, Understanding Complex Systems: Population Interactions Resulting in Disease Transmission
- [19] B. K. Edwards and M. Ewers, Understanding Complex Systems: Economic Impacts from Catastrophic Events
- [20] P. D. H. Hines, B. O' Hara, E. Cotilla-Sanchez, and C. M. Danforth, Cascading Failures: Extreme Properties of Large Blackouts in the Electric Grid
- [21] ドイツ気象庁 <http://www.dwd.de/>
- [22] R. Graham, D. Knuth, O. Patashnik, "Concrete Mathematics: A Foundation for Computer Science", Addison-Wesley, 1994