

不確かな時代に夢を追う

重 川 秀 実*

筑波大学数理物質系 ☎ 305-8573 つくば市天王台 1-1-1

(2018 年 6 月 22 日受付；2018 年 7 月 9 日掲載決定)

Dream for the Future!

Hidemi SHIGEKAWA*

Faculty of pure and applied sciences, University of Tsukuba, Tsukuba 305-8573

(Received June 22, 2018 ; Accepted July 9, 2018)

Based on the data in the Japanese Science and Technology Indicators 2017 by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, the situation in which we are located and future possibilities are discussed.

KEYWORDS : science and technology, scientific research funds, role of university, society 5, education

1. は じ め に

最近、海外の会議に出かけると登録費やホテル代が日本の倍以上になることも多く驚かされる。国によっては、レストランで食事すると昼食でも数千円かかってしまうこともあり、その国のお年寄り数人が隣でテーブルを囲み楽しそうに団らんする姿を見ると、日本は大丈夫なのか？という思いが頭をよぎる。科学研究費を獲得しても、かなり大型の予算で無ければ、海外から最新のシステムを導入し実験を始める事が難しく、多くの人が歯がゆい思いを経験されているかも知れない。

これまで時に追われ、研究の内容やその先は考えても、その位置づけを世界における日本の状況や在り方と結びつけ、人や金の推移に関わるデータに未来を重ねて見ることは無かった。このたび特集号記事の依頼を受け、上に述べた話など思い出しながら様々な資料に目を通す機会を得た。我々は如何にあるべきか？研究生活等も振り返りながら自身の勉強を兼ねて少し考えてみたい。

2. 様々な繋がりの中で

「Si(111)-7×7 表面の原子ステップが観えました！」。

ベル研究所での研究生活から日本に戻り、東大物理工学科・河津璋先生の研究室で、現在豊田工大教授の吉村雅満博士（当時博士課程の学生）達と開発を進めていた走査トンネル顕微鏡（STM）を用い、初めて半導体表面の構造らしき像が得られた日のことが昨日のように思い出される。グラファイトの原子像が得られてから文頭の一言までは長い道のりで、結局は加熱した試料を清浄に保ちながら冷やすことの難しさが主な理由であったが、当時は振動の問題や他にも多くの要素が入り組み、原因を突き止めるのに時間を要した。手作りの装置で配線一本の向きや地下鉄の始発、終電の時間を気にしながらの実験は、今は昔の貴重な体験である。

ベル研究所滞在中は、ロングアイランド島にあるブルックヘブン国立研究所の放射光施設（NSLS）で、ベル研究所が持つ2つのビームラインの1つを担当した。バークレイ研究所 Advanced Light Source（ALS）¹⁾施設長になる Steve Kevan オレゴン大学教授が開発した高分解能角度分解光電子分光システムを彼のポストドクターと2人で整備しながら、自分達のビームタイム以外は国内外から訪れる研究者との実験を楽しんだ。同時期、隣のビームラインでは現在日立中央研究所（東工大教授兼）の橋詰富博博士が EXAFS の装置開発と実験を進めていて、渡米から帰国まで、また帰国後の STM の実験を含めて、公私に亘り大変お世話になった。

* E-mail : hidemi@ims.tsukuba.ac.jp



Fig. 1. Dr. Francesco Sette, general director of ESRF, and Dr. C.T. Chen at Taiwan Photon Source (TPS), who used to be the director of NSRRC, and designed TPS.

同年代のベル研究所研究員として、その後ヨーロッパ放射光 (ESRF) ²⁾施設長になった Francesco Sette 博士や、Steve Kevan 博士がベル研究所からオレゴン大学に移った後を継ぎ、また、帰国後、台湾放射光 (NSRRC) ⁴⁾施設長を務めた C. T. Chen 博士の二人 (Fig. 1) が、ドラゴンと呼ばれる、それまでに無い高輝度システムを開発していた。とにかく優秀な人達で、一緒にフランクを閉めながら、また、時にはアルコールを伴いしながら夢を語ったことや、女性を含む多くのポストドクターの人達が昼夜休み無く働く姿を見たことは非常に強い刺激となり、その後の研究生活に大きな影響を与えた。できる限り早い時期に一流の研究者と出会い、その姿勢にふれることは意識改革に大きな役割を果たすが、スポーツや芸術等含め、何かしら極めることで見えてくる世界は分野を超えて共通の輝きを放つのかも知れない。

もちろん海外経験を持つことの意義も大きい。会誌で海外留学体験記がシリーズで紹介されてきたが、いろいろな国の様々な研究室での多様な考え、研究の進め方に触れることも世界の景色を変えてくれる。また若い時代の出会いは、いつまでも続く友情となり一生を通じての宝になる。

ベル研究所ビームラインの責任者は半導体表面の研究で優れた業績を持つ Jack Rowe 博士で、多くを学びながら仕事をともにしたが、本当に、いろいろな事を知っていることに驚かされる人だった。当時、真空層に取り付

けられた表面構造の評価手段は低速電子線回折 (LEED) で、スパッタとアニールを繰り返す中、満天の星空を思わす 7×7 構造の回折像が輝きを増していく様は感動的で、姿が観えないだけに原子の思いを想像する気持ちをかきたてられた。この感覚は、時がたった今も、様々な試料を対象にした STM 像を見るたびによみがえる。原子や分子は何を思うのか？今では加熱した試料の温度をそっと下げると当たり前のように綺麗な原子像が現れるが、Si(001) 表面では、より清浄な環境が必要で、ダイヤモンド欠陥と格闘した日々も懐かしく思い出される⁴⁾。最近では回折を使った時間分解測定が行われ大きな成果があがっているが、像の美しさとは別に、隔世の感がある。

帰国前、C. T. Chen 博士から、放射光と STM を組み合わせるまいかという話があった。当時は如何にしてノイズを落とし安定したシステムを構築するかが鍵で、ビームの安定性や光電子の扱いなど、かなり難しい仕事に思えたが、その後、NIMS の青野正和博士、東大物性研の長谷川幸雄博士、大阪大学の齋藤彰博士らのグループにより実現された⁵⁾。

話は戻るが、大学院、助手時代は、寺田寅彦先生の孫弟子にあたる故兵藤申一先生の研究室に所属し興味深い仕事に携わる機会を得た。ガラスの破壊現象やコーティングとの界面を原子レベルで探り光ファイバーの高強度化をはかる試みや、金属材料が損傷を受けると自然に、また仕事関数以下の励起で電子が放出されるエキソ放出機構の解明に取り組む中、ラマン分光や手作りの光電子分光を経験した。処理後の金属表面を酸化させる為に導入したガスが質量分析器の他元素の信号を強める様子が驚かされたが、ベル研究所滞在中に同様の手法が試料の不純物を除く技術になることを知った。前後するが、学部4年の卒業研究では、レーザー冷却他で有名な清水富士夫先生の研究室でレーザーの波長を効率良く変換する仕事に従事した。用いた Cs ガスの酸化に苦労したが、今となれば、もう一工夫必要だった。

その後、量子光学の超短パルス技術を STM と組み合わせることで、時間空間両領域で極限的な分解能を持つ測定法の開発を進めてきたが⁶⁻⁹⁾、レーザーにふれた卒業研究の経験が新しい試みへの関を下げてくれた。また、現在、細胞レベルでガンを理解し制御する仕事にも取り組んでいるが、ガラスの欠陥ダイナミクス評価に用いたラマン分光が探針増強ラマン計測と言う形で復活している。他の研究を振り返ってみても、いろいろな機会に得た知識や経験が、時を超え、また異なる場面で顔を出す。人の繋がりも様々に織りなすが、本稿に向かう機会を持ったお陰で、今、改めて人生の面白さを感じている。結局、どんな経験や出会いも全力で大切にしてい

そ活きる，ということなのかも知れない。

研究を進めるには，目指すテーマの選択が第一であるが，困難であればあるほど，その夢をかなえるには諦めず追いつける努力が意味を持つ。確かに，「継続は力」は多くの事柄に共通する基本であり，定めたことを粘り強く考え求め続ける諦めの悪さが優れた才能となり人生を充実させる源になるのだろう。

3. 何が求められているのか？^{10~13)}

さて，如何に実験を工夫するにしても，研究を進めるには，それなりの資金が必要になる。Fig. 2 は，主要国における研究開発費総額の推移である。上段は絶対値であり時々の貨幣価値によるが，凡その額と国毎の変化を見て頂くとして，下段は，国の経済規模を考慮して比較する科学技術予算の対国内総生産（GDP）比率である。中国の躍進については良く話題になるが，下段の図で見ると韓国の伸びは注目に値する。国内外から研究者を公募し韓国版 Max Planck 研究所を設立するなど，科学技術開発にける熱い思いが伝わってくる。図では示さないが主要国政府科学技術予算の対 GDP 比の 2016 年における値は，日本 0.65%，米国 0.80%，ドイツ 0.88%，フランス 0.63%，英国 0.54%，中国 1.02%，韓国 1.21% となっている。

直接関係する資金として Fig. 3 に科学研究費の推移を示す資料をあげておく。CREST，Q-LEAP 等の大型外部資金では，多くの場合，設定されたテーマの枠組みの中

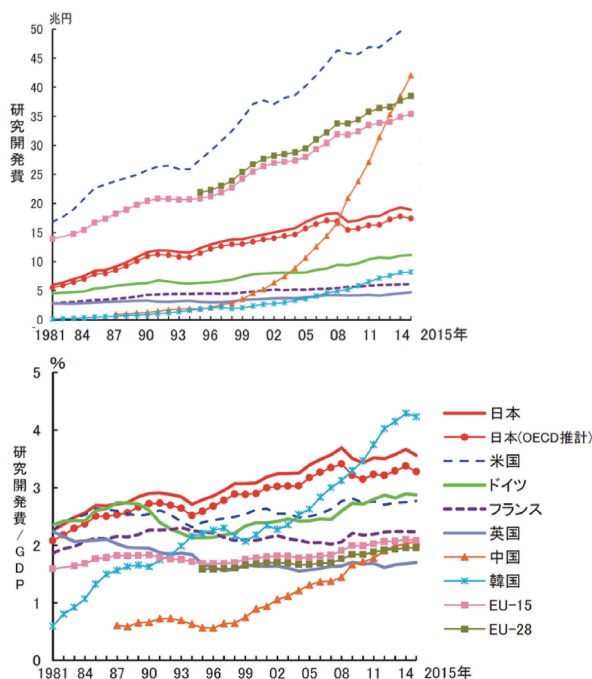


Fig. 2. Change in the research funds in major countries.

科研費の予算額の推移

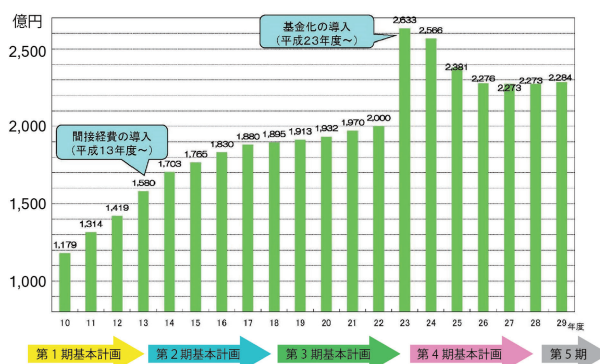


Fig. 3. Change in the Grants-in-Aid, KAKENHI.

で自身の課題を決めることになる。運営費交付金が削減される中，自らの夢をテーマとして掲げ追うことが可能な科学研究費の存在は重要である。最近，科学研究費の仕組みについて大きな改革が行われた。JST の学術システム専門研究員として関わる機会を得たが，申請の時期だけ書類に向かうのではなく，貴重な資金とそのあり方を皆で考え，協力し守っていくことの大切さを痛感した。是非，一考して頂ければと思う。

参考に，Fig. 3 の時間軸に記載がある文部科学省による科学技術基本計画の関係する部分を簡単にまとめると，以下の様になる。

○ 第一期（H8～12，政府研究開発投資総額 17 兆円）：社会的・経済的ニーズに対応した研究開発の強力な推進と知的資産を生み出す基礎研究の積極的な振興を基本的な方向とし，（1）競争的資金の拡充，（2）ポストドクター 1 万人計画，等を施策とする。

○ 第二期（H13～17，政府研究開発投資総額 24 兆円）：（1）知の創造と活用により世界に貢献できる国，（2）国際競争力があり持続的発展ができる国，（3）安心・安全で質の高い生活のできる国，の実現を新たに目指すべき科学技術政策の 3 つの基本理念とし，基礎研究の推進と国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点化等による科学技術の戦略的重点化を図ることを目的とする。ライフサイエンス，情報通信，環境，ナノテクノロジー・材料，環境の重点推進 4 分野に，エネルギー，製造技術，社会基盤，フロンティアの 4 分野を含めて戦略的重点化として優先的に資源配分を行う。また，競争的資金や間接経費の拡充，若手研究者の活性化に向けた制度整備，産学官連携の取組などを推進する。

○ 第三期（H18～22，政府研究開発投資総額 25 兆円）：基本姿勢は，（1）社会・国民に支持され，成果を還元する科学技術。（2）人材育成と競争的環境の重視・

モノから人へ、機関における個人の重視。の2点である。また、第二期計画の3つの理念を実現する為、官民の役割分担を考慮して、科学技術が何を指すのかという以下の具体化された政策目標（中目標）を設定した。(1) 新しい原理・現象の発見・解明。(2) 非連続な技術革新の源泉となる知識の創造。(3) 世界最高水準のプロジェクトによる科学技術の牽引。(4) 地球温暖化・エネルギー問題の克服。(5) 環境と調和する循環型社会の実現。(6) 世界を魅了するユビキタスネット社会（いつでも、どこでも、なんでも、誰でもアクセスが可能なネットワーク環境を持つ社会）の実現。(7) ものづくりナンバーワン国家の実現。(8) 科学技術により世界を勝ち抜く産業競争力の強化。(9) 国民を悩ます病の克服。(10) 誰もが元気に暮らせる社会の実現。(11) 国土と社会の安全確保。(12) 暮らしの安全確保。

情報分野についての政府開発投資の割合が減少したことに加え、ライフサイエンス分野、ナノテクノロジー・材料分野及びフロンティア分野の割合の増加と、エネルギー分野の減少が見られた。

テニュアトラック制が推奨されるとともに、若手研究者の活躍を一層促進するための環境整備（スタートアップ資金の提供、若手のための研究スペース確保等）が望ましいとされた。また、ポストドクター後のキャリアパスを充実させるためのキャリアサポートの推進がうたわれ、民間企業等と接する機会の充実を図ることが求められた。実際、学会の講演大会等でもこうした取組が行われてきたのは記憶に新しい。人材の流動性に対しては、自校出身者比率の抑制等が掲げられ、女性研究者や、外国人研究者の活躍促進も盛り込まれた。こうした取組を背景に、最近では、若手、女性、外国人の採用を明記した公募条件を目にすることが多い。Fig. 4 に女性研究者数の割合の推移を示す。

米国の状況を参考とし、博士課程（後期）在学者を対象とした経済的支援も重要な課題とされ、リサーチアシ

スタントへの支給拡大等が多くの大学で実行されている。しかし未だ十分とは言えず、後で触れるように博士課程進学が伸びない理由の1つかも知れない。

○ 第四期（H23～27、政府研究開発投資総額 25 兆円）：第三期基本計画の実績と課題を踏まえ、(1) 科学技術イノベーション政策の一体的展開。(2) 人材とそれを支える組織の役割の一層の重視。(3) 社会とともに創り進める政策の実現。の3つを基本方針とした。また、(1) 震災からの復興、再生を掲げ、将来に亘る持続的な成長と社会の発展を実現する国。(2) 安全かつ豊で質の高い国民生活を実現する国。(3) 大規模自然災害など地球規模の問題解決に先導的に取り組む国。(4) 国家存立の基盤となる科学技術を保持する国。(5) 知の資産を創出し続け、科学技術を文化として育む国。の5つの国の姿を我が国が中長期的に目指すべき大きな目標として掲げ、政策を推進することとなった。

他に、我々に繋がる内容として、競争的資金制度の改善及び充実、研究開発に実施体制の強化、いう項目があげられている。前者では、国は、新規採択率の向上や一件あたりの十分な研究費の確保を目指し、競争的資金の一層の充実を図る、とあり、後者では、大学や公的研究機関において、研究活動を効果的、効率的に推進していくため、研究活動全体のマネジメントや、知的財産の管理、運用、施設及び設備の維持、管理等を専門とする多様な人材が活躍できる体制の整備と強化を図る、とある。実際、各大学で URA（University Research Administrator）の採用が進められてきたが、大型競争資金の応募でもサポート体制の整備が重要な要求項目になっている。

○ 第五期（H28～H32、25 兆円）：Society 5（世界に先駆けた超スマート社会）として実現すべき社会を提唱し、(1) 未来の産業創造と社会変革に向けた新たな価値創出の取組。(2) 経済・社会的課題への対応。(3) 若手人材の育成・活躍促進、大学の改革・機能強化などイノベーションの源である多様で卓越した知を生み出す学術研究や基礎研究、あらゆる活動を支える資金といった、科学技術イノベーションの基盤的な力の強化。(4) 企業、大学、公的研究期間の本格的連携とベンチャー企業の創出強化などを通じ、イノベーション創出に向けた人材、知、資金の好循環システムの構築。を基本計画の4本柱として、科学技術イノベーションが、経済、社会及び公共の為の主要な政策として位置づけ強力に推進する、とされている。

超スマート社会とは、ネットワークや AI 技術を駆使し、必要なもの・サービスを、必要な人に、必要なだけ供給し、社会の様々なニーズにきめ細かに対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられ、年齢、性別、

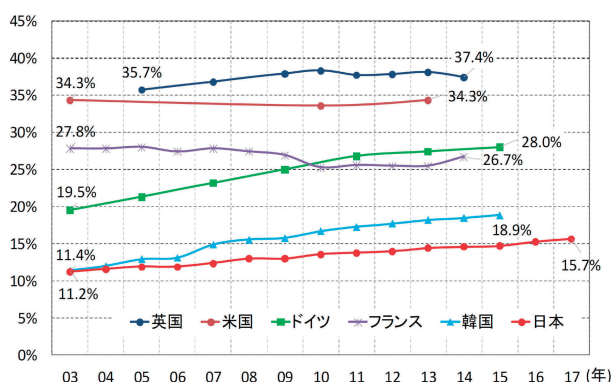


Fig. 4. Change in the number of female researchers.

地域、言語といった様々な違いを乗り越え、生き活きと快適に暮らすことができる社会、と定義される。こうした目標を実現し牽引していく重要な項目の1つとして、多様で優秀な人材を持続的に育成・確保し、科学技術イノベーションに携わる人材が、知的プロフェッショナルとして学界や産業界等の多様な場で活躍できる社会を創り出すことが求められている。

本稿で全体を記載することはかならず紹介出来た内容は一部になったが、初めて目にされる方も多いことと思う。資料によって様々な形で書かれており、相互の関係など十分理解出来ていないこともあって、読者の方には分かりづらい流れになったかも知れない。(1) 外部資金獲得が強く求められ、時には研究者の評価の基準となり、(2) ポストドクター雇用による研究推進や、(3) 大学の人件費が削減される中、若手、女性、外国人研究者の採用が強く求められるなど、今日、多くの方が経験されている状況は、こうした構想に基づいていることを感じて頂ければ幸いである。多くの議論に基づく方針ではあろうが、もちろん、ただ受け入れるだけでは道を誤る可能性もある。我々自身、世界との繋がりの中で日本の現状をとらえ将来の姿を描き出すことが、これまでになく大切な時代と思われる。

4. 基礎研究と応用研究

研究資金について述べてきたが、結局は、人、に行き着く。Table 1 は、ノーベル賞受賞者数をまとめたものである。最近の日本人受賞者数の伸びが注目されるが、基礎研究と応用研究のあり方、研究資金のあり方等から、将来の日本人ノーベル賞受賞について不安が語られることも多い。

Table 2 に受賞者名と研究タイトルを示す。分野、内容について詳細を眺めてみるのも興味深い。最近、韓国では、先にも触れたように、マックスプランク研究所のスタイルを手本として年間10億円近い研究費を5年間(トータルでは10年とも、それ以上とも言われている)使い、強力なグループを組んで基礎研究を進める仕組み

Table 1. Number of Nobel Prize winners in the major countries.

	1901–1990 年			1991–2000 年			2001–2016 年		
	生・医	物	化	生・医	物	化	生・医	物	化
ヨーロッパ	87	89	78	8	7	9	48	15	10
北米	50	40	31	11	13	7	13	17	18
日本	1	3	0	0	0	1	3	8	5
アジア	3	6	2	1	1	0	1	1	1
中南米	4	0	0	0	0	1	0	0	0
アフリカ	2	0	1	0	1	1	1	1	1
中東	0	0	0	0	0	0	0	0	5

Table 2. Names and titles of the Japanese Nobel Prize winners.

	受賞年	氏名	対象研究
生理医学	1987	利根川 進	抗体の多様性に関する遺伝的原理の発見
	2012	山中 伸弥	成熟細胞が、初期化され多能性を獲得し得ることの発見
	2015	大村 智	線虫の寄生によって生じる感染症に対する画期的治療法の発見
	2016	大隅 良典	オートファジー（自食作用）の仕組みの発見
物理	1949	湯川 秀樹	核力の理論的研究に基づく中間子の存在の予想
	1965	朝永振一郎	量子電磁力学の分野における基礎研究と素粒子物理学についての深い結論
	1973	江崎玲於奈	半導体内および超伝導体内の各々におけるトンネル効果の実験的発見
	2002	小柴 昌俊	天文物理学、特に宇宙ニュートリノの検出に対するパイオニア的貢献
	2008	南部陽一郎	素粒子物理学における自発的対称性の破れの発見
	2008	小林 誠 益川 敏英	小林・益川理論と CP 対称性の破れの起源の発見による素粒子物理学への貢献
	2014	赤崎 勇 天野 浩 中村 修二	明るく省エネルギーの白色光源を可能にした効率的な青色発光ダイオードの発明
	2015	梶田 隆章	ニュートリノが質量を持つことの証拠であるニュートリノ振動の発見
化学	1981	福井 謙一	化学反応過程の理論的研究
	2000	白川 英樹	導電性高分子の発見と発展
	2001	野依 良治	キラル触媒による不斉反応の研究
	2002	田中 耕一	生体高分子の同定および構造解析のための手法の開発
	2008	下村 脩	緑色蛍光タンパク質 (GFP) の発見と生命科学への貢献
	2010	根岸 英一 鈴木 章	有機合成におけるパラジウム触媒クロスカップリング反応の開発

が作られ、公募の形で海外からも代表者が採択され、活発に研究が進められている。割愛するが、日本の WPI との比較も試みられたい。

5. 次代を育てる

基本方針の中でも述べられているように、博士課程への進学者数を増やすことが強く望まれているが、多くの大学教員が実感しているように、現実はなかなか難しい。Fig. 5 は人口100万人辺りの修士課程、博士課程への進学者数である。年度の数え方などは国によっており、中国のデータは不確かである。

博士号をとる条件は大学によって、また分野によって異なるが、中国の大学を訪れた際、物理関係で博士号をとるための条件が高IFの論文数編の発表であると教えられた。ソウル大学の物理学科も高いレベルが求められ、優秀でも通常の年数で博士号をとれない学生が多くいる。日本よりかなり厳しい状況である。

しかし、博士課程進学者数の変化を見ると、日本のみ

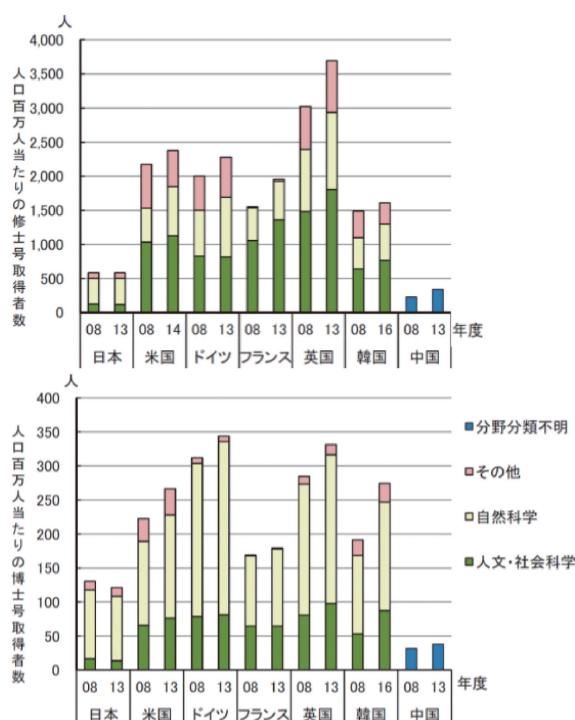


Fig. 5. Number of graduate students for a population of one million.

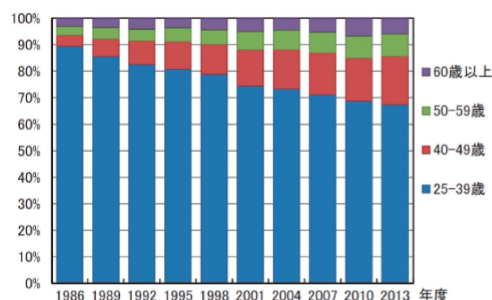


Fig. 6. Change in the age distribution of university faculty members who were newly hired.

が減少し他国は増加している。日本では、大学で職を得る場合以外、博士号の有無で待遇にそれ程大きな差がなく、逆に、就職が難しくなるとされていることも理由の1つと考えられる。先にも触れたように学費の補助や奨学金返済の問題が解決し、待遇の改善があれば進学の実動になるかも知れない。ただ、いろいろな事が不確定であり、また、多様な可能性、生き方がある現在、人生に対する考え方にも寄るようと思われる。道を拓くには、別の工夫が必要かも知れない。

最後に、Fig. 6は新規大学採用教員の年齢構成であ

る。25～39歳の採用が減少しており若手を増やすことが求められている理由も理解出来る。ただ、一方で、ポストドクターや海外留学、テニユアトラック制を後押しすることも奨励されており、業績をあげて就職する為には年数が必要になる事情もあるかも知れない。研究に限らず、レベルを高めることと競争を取り入れることとの関係は、そう簡単では無いところもある。繰り返しになるが、一度立ち止まり、教育のあり方等含めて、皆で考える時間を持つことが必要と感じられる。

6. ま と め

合併により、本学会の、また会員の果たすべき役割も膨らんだ。日本の力を盛り返すには、多様な才能をうまく引き出し活かすことが必要で、誰もが役割を担って助け合い、果たした努力がきちんと評価され報われる幸せを感じることができる社会を創ることなのだろう。その為には、当たり前とされていることが、また、されようとしていることが本当にあるべき姿なのか、たどり着くべき先を見つめ直し道を探すことと併せ、夢を追う力を生む心のやりとりが大切という気がする。教育もやはり。人生は一度で短く、一生でできることは限られている。まだまだ青春、更なる一步を踏み出したいものである！

文 献

- 1) <https://als.lbl.gov>
- 2) www.esrf.eu
- 3) www.nsrcc.org.tw
- 4) K. Hata, T. Kimura, S. Ozawa and H. Shigekawa : *J. Vac. Sci. Technol., A* **18**, 1933 (2000).
- 5) それぞれのHPを参照されたい。
- 6) 重川秀実, 吉田昭二, 武内 修: 日本物理学会誌 **73**, 314 (2018).
- 7) 吉田昭二, 武内 修, 大井川治宏, 重川秀実: 固体物理 **53**, 165 (2018).
- 8) 重川秀実, 吉田昭二, 武内 修: 表面科学 **35**, 656 (2014).
- 9) 重川秀実, 吉田昭二, 武内 修: 応用物理 **83**, 923 (2014).
- 10) 科学技術指標 2017, 文部科学省科学技術・学術政策研究所, 科学技術・学術基盤調査研究室.
- 11) 第5期科学技術基本計画の検討に向けた主な論点についての関連資料, H27. 3. 経済産業省産業技術環境局.
- 12) 科学技術基本計画, H23. 8. 19 閣議決定.
- 13) 科学技術基本計画, H28. 1. 22 閣議決定.