

特別インタビュー

理化学研究所 革新知能統合研究センター
杉山 将 センター長インタビュー

聞き手：科学技術予測センター センター長 赤池 伸一、上席研究官 林 和弘、研究員 小柴 等

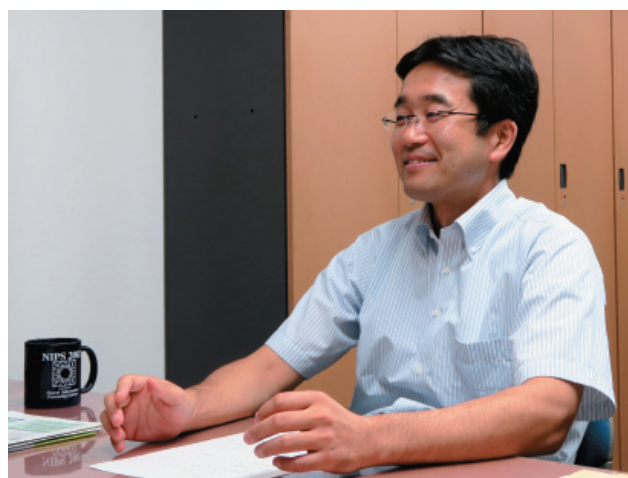
第5期科学技術基本計画をはじめとして、広く社会一般においてICT、とりわけ人工知能（AI）への期待が高まっている。文部科学省においても、平成28年度から、世界最先端の人材を結集し、革新的な人工知能技術の中核として、ビッグデータ・IoT・サイバーセキュリティを統合した研究開発を行う拠点の新設や、イノベーションを切り開く独創的な研究者等の支援を推進することを目的に「AIPプロジェクト（人工知能／ビッグデータ／IoT／サイバーセキュリティ統合プロジェクト：Advanced Integrated Intelligence Platform Project）」を開始した。

AIは、我が国のみならず多くの国や組織で研究が進められており、広範な分野で利活用が進むなど大きな盛り上がりを見せている。言い方を変え、AIは研究や産業など様々な側面において熾烈な競争環境に置かれている分野の一つであり、大きな可能性を有すると同時に、中長期的な展望という意味では先読みのしづらい状況にあると言える。

そこで、今回は、AIPプロジェクトの中核を担う研究開発拠点として理化学研究所（理研）に開設された「革新知能統合研究センター」（以下、AIPセンター）の初代センター長に就任された杉山将先生（2016年7月就任。現職の東京大学大学院教授と兼務）から、AI研究の展望についてお話を伺った。

— まずはAIPセンター長に就任された背景からお聞かせください。杉山先生は41歳という若さで今回のポストを打診され、受諾されたわけですが、その背景、理由はどのようなところにあるのでしょうか。

個人的なバックグラウンドからお話をさせていただきますと、私はいわゆるAIの分野の中では「理論寄り」、主に統計的機械学習などの基礎的な部分



杉山 将 理化学研究所 革新知能統合研究センター長

を対象にしている研究者になるでしょうか。AIは現在「応用寄り」、特に産業にどう活用できるかということに大きな注目が集まっていますが、単に応用するだけでなく、それを深めたり幅を広げたりするなど、また、10年後、20年後という中長期的視点から見ても、やはり基礎のところまで理論をしっかりと積み重ねていく、ということも忘れてはいけません。基礎・理論と応用とのバランスが大事だと考えています。そこでAIPセンター設立のお話を初めて聞いた際、自分もメンバーかチームリーダーとして理論研究の面で協力をさせていただければよいというようなことは漠然と考えていました。

そのような状態でしたので、センター長のお話を頂いたときには、驚きました。研究分野として見た場合、主役は大学院生や30代のポスドクになりますので、私は決して若くない方です。しかし、“センター長”となりますと標準からは大きく離れますし、本当に想定外のお話でした。

受けさせていただいた理由は“分野への貢献”という気持ちに後押しされる、ある種の勢いでしょうか。一般的な話として、「理論寄り」の研究者に、現状

のAIのような（産業応用などへの期待が高い）分野で大きなプロジェクトのトップを任せていただけるという機会はまずないことだと思います。実際に担当者の方も、私の年齢的なことも含め相当の覚悟で依頼をしたとおっしゃっていました。先にもお話をさせていただきましており、いわゆるAIの分野においても基礎や理論の研究はますます重要性を増していくと考えていますが、ここでお断りをすると我が国で理論系の研究者に対してもう二度とチャンスは巡ってこないかもしれない。そこで、私では至らぬ点も多く、難しい課題と理解はした上で、そこは深く追求せず、AI全体、そして理論系の研究者のためにも、せっかく頂いたチャンスなので一つやってみよう、がんばってみよう、という、その勢いで受けさせていただきました。

— 確かに昨今のAIブームは応用面の話が主で、特に我が国では理論面の話は余り表には出てこないように思われます。AIPセンターではこの“理論”をしっかりとやっていこうというお考えでしょうか？

そのように考えています。とはいえ応用を考えないというわけでもありません。

私は出自が工学系でもありますので、応用も好きですし、大事だと考えています。せっかく作った理論なら、やはり多くの方に使っていただきたい。そこで私個人としては、これまで自分でいろいろな企業さんを巡って、我々の有するシーズを提示するとともにニーズをお伺いして、御活用いただくための活動にも積極的に取り組んできました。AIPセンターでも応用を頭の中に置いて研究開発を進めますし、積極的な応用のために産業技術総合研究所（AIST）の人工知能研究センターや情報通信研究機構（NICT）をはじめ、産業界との連携も行うことにしています。その上で、この応用をより発展性のあるもの、実りあるものにするためにも、やはり基礎体力、成長力である理論、特に基礎理論が大事で、大切に育てたいと考えます。

もう少し現実的な面から見ても、我が国が特に“国”として直接分野に関わる、投資する際には「理論」が要になってくると考えています。

AIPでは10年間の研究期間を与えていただきました。これは我が国の財政事情から考えると非常に大きな規模です。しかしながら、AIは世界的にも非常に盛り上がっている分野で、企業からの資金投下も活発です。海外では一企業がAIの研究開発に年間で数千億円単位のお金を投下しています。そうすると、（そうした資金を使って）膨大な計算能力を確保

して物量勝負という世界では、どうしても勝ち目がないと思うのです。

一方で理論は物量ではありません。組織の大きさ、予算規模の差がそのまま競争力の差にはならない世界です。例えば深層学習にしても、それを応用したAlphaGoにしても、元々は小さいスタートアップ企業が始めたもので、それを大企業が買収し、多くの優れた人材と豊富な計算資源という物量で一気に現在の地位まで押し上げてきたと言えます。そして、我が国にも理論の分野における「世界的に見て優れた研究者」は存在しています。したがって、理論であればこの予算規模であっても世界的にプレゼンスを発揮できる。むしろ物量での勝負が難しい現状においては、理論こそがプレゼンスを発揮できる可能性の最も高い領域ではないか、と考えています。

こういった背景、意図から個人としてもAIPセンターとしても理論の、特にコアのところ、基礎理論で勝負をかけていきたいと思います。

— 杉山先生は理論系ですが、おっしゃるとおり応用の成果も多く上げていらっしゃいます。理論を構築していく上でも具体的な応用の場面を意識して作業を進めていらっしゃるのでしょうか？

先にも申し上げたとおり、個人的に応用は積極的に考えます。しかし、だからといって、始めから特定の場面を想定して理論を構築するということはありません。

何か理論を構築しようというときに、当初から具体的なゴールがあると、最後はそこにたどり着かなければなりません。そうすると取り得る選択肢が制限されてしまいます。さらに、その選択を間違えると、苦労して築き上げたものが所与の目的には全く役に立たないということもあると思います。そこで、まずは純粋に理論を構築するという部分に主軸を置いて研究を進め、その後で応用を考えるような形をとっています。

構築した理論を応用につなげるための工夫としては、応用の検討に際して企業さんを訪問するときに、一つの理論だけ持っていくのではなく、複数の理論を持っていく、また、企業さんの側からもいろいろな要求を出していただく、そうしてニーズとシーズがうまくマッチするところで勝負する、ということを行っています。1対1のマッチングの場合は、ニーズとシーズにズレがあるとその時点で話が止まってしまう。一方、多対多であれば、マッチングの成功確率は上がっていきますよね。したがって応用を直接意識するのではなく、そこは独立に理論の

ストックを広げておくことで、応用のヒット数を上げるという戦略をとっています。

そもそも理論は具体的にどのように役立つか、構築当初に説明できないものの方が多いように思います。しかし、現時点では直接活用できない理論も、いつか非常に重要になるかもしれない、想定外のところで役立つかもしれない。実際、このところ大きな注目を集めている深層学習にも、そういった面があると思います。理論構築の最初では、応用は余り意識しすぎずにしっかりと本質を見据えた研究を行って、成果の蓄積をしておくことが、結局は応用に役立つ、ということでしょうか。

AIP センターでも、理論の研究を行うチームでは具体的にこのようなものをやりなさい、このような成果を出しなさいとトップダウンにやらせるのではなく、内容的にも、成果の評価軸やタイムスパンについても、可能な限り研究者個人の裁量を尊重してやっていければと考えています。

— では、AI 関係の理論研究として見た場合に我が国の研究者が有する強み、特に 10 年から 20 年の中長期的展望で想定される強みはどのようなところにあるとお考えでしょうか？

統計理論の基礎的なところのものや、画像処理に関するもの、自然言語処理に関するものなど個別具体的にはいろいろあると思います。イメージしていただきやすそうな例として、コンピュータにリンゴかトマトの画像を与えて、それを正しく判別（分類）させたいとしましょう。現状、一般的にはリンゴやトマトの画像をとにかく大量に与えて学習させ、分類規則を得るのが定石です。これに対して、限られた・少ない数のデータ（リンゴやトマトの正解画像）からでも精度良くトマトかリンゴかを分類できる規則を見付け出すことについての理論や、学習に用いるデータにノイズ（非常に形が変わったものや、極端に写りが悪いものなど）があってもそれらの影響を受けずに安定してトマトかリンゴかをきちんと分類できる規則を見付け出すことについての理論、などを作ろうという動きもあって、独自の提案が日本から出ています^{注1}。理論研究に関して我が国は強みを有していると思います。ただ、ここでは「我が国の強み」というところで、少しだけ視点を変えた回答をさせていただきたく思います。

AIP は多額の税金を頂いて行うものですし、当然、

我が国への貢献を考えています。一方でより良い成果を出すということを考えてときに、必ずしも“我が国”に閉じて考える必要はないと考えています。

先ほど申し上げた、応用研究での多対多マッチングの話とも通じるのですが、協働する相手は多いに越したことはない。そのため、我が国というよりは国際的な視点で活動していきたいと考えています。例えば、企業との共同研究も海外の企業と組んだ方が良さそうだというのであれば、積極的に海外の企業と一緒に進めるべきだと思います。つまり“日本人だけで固まって海外と闘う”というよりは、国際的に活躍する AI 研究者が就職先の候補として考えてくれるような、国籍とは関係なく同じテーマについて一緒に研鑽を積むことができるような場所として AIP センターが育っていくと良い、育てたいという気持ちがあります。

もちろん、そのためには研究面だけでなく、海外の方が来てくれるような給与制度や、研究者本人のみならずその家族が日本で暮らしていきやすい仕組みの構築など、我々では対処できない課題も多々ありますが、可能な限りそのような方向を模索できればよいと考えています。そうして、我が国で理論的な研究に携わる人々の層を厚くしていく、また、新しい強みを生み出していく、そういった仕組み、エコシステムの構築を意識しているところです。

関連して、必ずしも今見えている・分かっている強みに注力する必要はないと考えています。多対多マッチングでも同一カテゴリー内での多様性はもちろん、カテゴリー自体の多様性も重要です。したがって、「どこか特定の領域だけに集中的に取り組む」というよりは、「優先度の高い箇所はもちろんある、強い部分は伸ばす、しかし一方で個々の研究者にもある程度の裁量を持たせて幅広いテーマに取り組む」といった方向で考えているところです。

— 今のお話の中にあつた研究領域の人材流動性については、当研究所も以前から興味・関心を寄せており、過去に一部の分野を調査してレポートにまとめました^{4,5)}。AI の分野における現状の人材流動性、特に海外とだけでなく、産業界と学界の人材流動性についても状況をお話しいただけますでしょうか？

国際的な流動性については確かに少ないな、ソフトな鎖国状態になっているな、という気がします。例えば、中国や韓国の方は海外の大学に留学してい

注1 NISTEP 補足：例えば、文献 1~3) など

る方もかなりいると思います。科学技術・学術政策研究所（NISTEP）が先日調査して下さった AI をはじめとする情報系国際会議の分析^{6,7)}でも、例えば「米国」にカウントされているものの中に、中国籍や韓国籍の方が結構含まれているのではないかと見ています^{注2}。一方で、日本籍の方はゼロに近いのではないかと思います。

研究者はもちろん、学生のうちから海外に出ることは大事だと思いますので、大学教員の立場として学生さんには積極的に留学を勧めているところです。さらに、大学の側でもいろいろと支援制度を用意して下さっています。しかし、それでも手を挙げるのは結局、海外から来られた方であることも多く、この点もなかなか悩ましいところですね。

産業界と学界の交流も難しいところです。私の分野においては、学生レベルで見たときに海外の学生と日本の学生でそれほど大きな差はないと感じています。ただ、日本では修士課程を終えると就職してしまって、その後も大学には戻ってこない。博士課程に進んでくれる学生さんが極めて少ないと感じています。私は東京大学に移籍するまでの11年間、東京工業大学に研究室を持っていましたが、そこで修士課程から博士課程に進んだ日本人学生は1人もいませんでした。研究室全体としては博士課程学生はたくさんいたのですが、海外からの留学生ばかりでした。もっと多くの学生さんが博士課程に進んでくれば理論系の研究者の層も厚くなって、世界的にも「あそこで研究してみたい」という形に持っていけると思うのですが。

一方で、我々教員の側も学生に「博士課程において」と胸を張って言えるかという点も難しい。企業に就職した方が給料も良いですし、任期を気にせず安心して研究できます。一方、博士課程に進んで、その後も学界で研究を続けたいとなると、2、3年の任期付きでその先の雇用も保障されず、給料も安い。しかも多くはプロジェクト雇用ですから、専任義務などもあって自由度は低い。

今回のAIPは10年という期間をいただけましたので、そうすると、とりあえず博士課程を出た後10年程度までは、腰を落ち着けて研究することのできる場が用意できます。これでいわゆるAIに関する理論研究の文化というか、エコシステムに向けて少

し足場が整えられるかなと、明るい兆しが見えてきたところです。また、こういったことを契機に海外、そして産業界と学界の流動性も高めていきたいと考えています。

－ 理論に限らず今後ワイルドカードになり得る、状況を大きく変え得るようなAI分野のテクノロジーについては、何かお考えはありますか？

自分の研究を支えるコアの部分では、知識、知能というものを検証できる形でフォーマルに示したい、記述できるようにしたいという思いがあります。一方で、深層学習を含め全脳アーキテクチャのような、なぜそうするのがよいのか理解・説明することはできないが、やらせてみると実際にそれがうまくいく、良い手である、というようなタイプの研究もあって、最近ではこれらが大きな成果を上げており、世間の注目も集めていますね。私も元々、全脳アーキテクチャみたいなものにも興味があって、学生時代に横目で眺めていました。

こういったものと、理論研究が接近していくことで、知能というブラックボックスの内部構造解明に一部でも迫ることができれば面白そうだな、迫ることができるのではないかと、いう気がしています^{注3}。AIPセンターでも理研内部はもちろん、NICTの脳情報通信融合研究センターとの連携を積極的に行うことにしています。

ほかにはELSIなど倫理の問題でしょうか。AIを様々な意思決定、特に社会的な意思決定に積極的に用いるようになった場合を想定して、公平性を担保する、若しくは不当な差別をしない、納得できる根拠を示す、といったことに関する理論的な仕組みを用意できないか、といったことは考えています。これらについては、科学技術振興機構（JST）の社会技術研究開発センター（RISTEX）の「人と情報のエコシステム」、「人工知能学会倫理委員会」、「AI社会論研究会」などと議論させていただきたいと思っています。

－ いわゆる「ロボット三原則」のようなものでしょうか？

注2 この分析では、著者所属機関をベースに国別の発表数を見積もった。

注3 2016年3月に当研究所で開催した人工知能に関するミニワークショップでも、公立はこだて未来大学学長（当時）の中島秀之先生から、「脳科学の知見とAI技術を融合し「構成的知能」実現を目指すべき」といった指摘がなされている^{8,9)}。

雰囲気、イメージとしては、そのようなものですね。できるかどうか、どこまでできるのか、いつできるのかは分かりませんが。しかし重要で、難しく、面白いテーマには違いないと思います。

－ 当研究所では現在、科学技術の予測活動を支援するための情報システムを試行的に構築しており¹⁰⁾、また、当研究所が関与する JST/RISTEX の「政策のための科学」(SciREX) プログラムの中でも、いわゆる AI の技術も活用した政策形成支援ツールの構築に取り組んでいます¹¹⁾。今後、AI は行政も大きく変えていく可能性があると思うのですが、現状のお考えや当研究所への期待をお聞かせください。

現状の AI はホワイトカラーの職種支援・代替にはマッチしているといった指摘もありますね。行政の仕事でもお役に立つ部分は多いと思います。AIP は税金で行うものですから、その成果を行政内での活動に直接御活用いただけるのであれば、我々にとっても大変有り難いお話です。個別具体的な技術で言えば、例えば異常検知・変化検知などの技術は

NISTEP で実施されている研究業務のうち「変化の兆し」を見付けるとい部分でお役に立てる部分があると思いますし、法的推論なども AI の分野では昔から取り組まれている課題の一つです。是非、応用側、ユーザ側として御活用いただければ幸いです。

それから、先日、NISTEP から出していただいた情報分野の国際会議分析^{6,7)}。ああいったものは非常に助かります。また、NISTEP でないとできない仕事だなとも思いました。というのは、自分の分野、例えば NIPS^{注4} などその周辺であれば土地勘があつて分かるのですが、もう少し広く、となるとなかなか状況は分かりません。他の研究者の方もそうではないかとも思いますし、専門外の部分までまとめるインセンティブは働きにくい。こういったところで、全体感がつかめる、さらに競争的外部資金の様子なども含めていろいろな観点で概況がつかめるとマネジメント上、助かります。

我々もいろいろなシーズを用意していくつもりでありますので、行政の皆さんからも是非いろいろなニーズをお寄せいただいて、マッチングしていけるとよいですね。

注4 NIPS (Neural Information Processing Systems) は、いわゆる AI の分野のうち、統計的機械学習などを取り扱う領域での世界的なトップカンファレンスの一つ。杉山先生の研究成果は NIPS でも多数採録されており (例えば文献 12~17) など (近年のもの。一部)、またアジア圏の出身者として初めて NIPS のプログラム委員長を務めた経験も持つ。

参考文献

- 1) Sugiyama et al, Density Ratio Estimation in Machine Learning, Cambridge University Press (2012 年)
- 2) Sugiyama & Kawanabe, Machine Learning in Non-Stationary Environments: Introduction to Covariate Shift Adaptation, MIT Press (2012 年)
- 3) 鈴木、確率的最適化 (機械学習プロフェッショナルシリーズ: シリーズ編者 杉山将)、講談社 (2015 年 8 月)
- 4) 古川、他、著者経歴を用いた研究者の国際流動性評価 ―コンピュータビジョン領域における事例研究―、文部科学省科学技術・学術政策研究所 DISCUSSION PAPER No.061 (2010 年 3 月) : <http://hdl.handle.net/11035/468>
- 5) 古川、他、研究者国際流動性の論文著者情報に基づく定量分析 ―ロボティクス、コンピュータビジョン及び電子デバイス領域を対象として―、文部科学省科学技術・学術政策研究所 調査資料 No.199 (2011 年 8 月) : <http://hdl.handle.net/11035/932>
- 6) 文部科学省 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 情報科学技術委員会 (第 94 回) 配付資料 1-2 (2016 年 6 月) : http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/006/shiryo/1374745.htm
- 7) 小柴、国際・国内会議録の簡易分析に基づく我が国の人工知能研究動向把握の試み、文部科学省科学技術・学術政策研究所 調査資料 No.253 (2016 年 8 月) : <http://doi.org/10.15108/rm253>
- 8) 小柴、第 10 回科学技術予測調査にみる人工知能・情報技術が切り拓く未来、文部科学省科学技術・学術政策研究所 調査資料 No.252 (2016 年 8 月) : <http://doi.org/10.15108/rm252>
- 9) 中島、知能の物語、公立はこだて未来大学出版会 (2015 年 5 月)

- 10) 小柴、予測オープンプラットフォームの取組、文部科学省科学技術・学術政策研究所 NISTEP NOTE No.22 (2016年8月) : <http://doi.org/10.15108/nn22>
- 11) 政策研究大学院大学 SciREX Center、トピックス : SPIAS [SciREX 政策形成インテリジェント支援システム] アルファ版を現在開発中です、SciREX ポータル (2016年8月) :
http://scirex.grips.ac.jp/topics/archive/160819_464.html
- 12) Niu et al, Theoretical comparisons of positive-unlabeled learning against positive-negative learning. NIPS2016 (2016年12月出版予定)
- 13) du Plessis et.al, Analysis of learning from positive and unlabeled data. NIPS2014 (2014年12月)
- 14) Wimalawarne et.al, Multitask learning meets tensor factorization: Task imputation via convex optimization, NIPS2014 (2014年12月)
- 15) Sugiyama et.al, Density-difference estimation, NIPS2012 (2012年12月)
- 16) Yamada et al, Relative density-ratio estimation for robust distribution comparison. NIPS2011 (2011年12月)
- 17) Zhao et al, Analysis and improvement of policy gradient estimation. NIPS2011 (2011年12月)
- 18) 内閣府 総合科学技術・イノベーション会議、国家的に重要な研究開発の評価 (平成27年度) AIP プロジェクト評価結果、(2015年12月18日決定) : http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/hyouka/hyokapj_h27.html
- 19) 文部科学省 科学技術・学術審議会 情報科学技術委員会、第93回 資料2-3 杉山革新知能統合研究センター長(内定者) 説明資料、(2016年4月28日開催) :
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/006/shiryo/1371042.htm