

# 学生フォーラム

## 第88回 Richard Zemel 教授インタビュー 「深層学習の今・トロント大学のこれまでとこれから」

深層学習の黎明期を支えたトロント大学・機械学習グループの出身者は、今では世界中で人工知能研究のリーダーシップを取っています。トロントからは多くの研究者が旅立ち、カナダからアメリカへの人材流出も懸念される中、Richard Zemel 教授や Geoffrey Hinton 教授を中心に新しいシステムの研究機関が設立されるなどさまざまな取組みがなされています。このインタビューでは、新設された Vector Institute の研究所長に就任した Richard Zemel 教授に、深層学習の発祥の地であるトロント大学のこれまでとこれからについて伺います。

Richard Zemel 教授 (トロント大学)

Geoffrey Hinton 教授のもとで 1993 年にトロント大学で博士号を取得し、2000 年には計算機科学科の教員として機械学習グループに加わる。Hinton 教授らとともにトロント大学の同グループを牽引し、深層学習の黎明期を支えた。2016 年に Vector Institute for Artificial Intelligence を設立、研究所長に就任し、トロントの機械学習コミュニティを率いている。

<http://www.cs.toronto.edu/~zemel/>

—先生が博士号を取得された当時から Hinton 教授は有名だったかと思いますが、何が実際に先生をニューラルネットワークの分野へ誘ったのでしょうか。先生の研究の軌跡やトロントとの関係を教えてくださいいただけますか？

実は高校生のときから機械学習などの本を読んで興味をもっていました。幸運なことに私はペンシルバニア州のピッツバーグに住んでいたため、Hinton 教授との距離は非常に近かったのです。彼は当時カーネギーメロン大学 (CMU) で働いており、チェッカーゲームやバックファローゲームの研究で有名でした。高校生の夏休みには CMU で人工知能研究の仕事をさせてもらいました。そして私はハーバードへ進学し、当時はまだ応用数理と呼ばれていたプログラムでコンピュータサイエンスを学びました。1984 年に卒業した後は、エキスパートシステムがとても盛り上がっていたので、CMU からスピノフしたスタートアップで LISP を用いた大規模なシステムを数年間開発していました。実際その企業は成功して、当初私は 16 番目くらいの従業員として入社しましたが、2 年後に出たときには 125 人くらいの規模になっていました。それはとても楽しくエキサイティングな経

験でした。しかしながら、エキスパートシステムは興味深いものではありませんでしたが、人々の期待したほど良いものではなく、残念ながら私達は幾らかのレイオフなどを始めました。そこで私は大学院へ戻るべきときだと悟って、研究をするという道を志したのです。

当時私の住んでいたピッツバーグにある CMU で、最も興味深い研究をしていると感じた Hinton 教授のもとで研究することを決めました。そこではコンピュータビジョンやロボティクスの研究をしていた金出武雄教授のコースも取りましたよ。Hinton 教授は 1984 年頃にトロントへ移り、私は彼のもとでニューラルネットワークの研究をして博士号を取得しました。ちょうどオートエンコーダの論文でしたが、それは近年また人気を取り戻しています。機械が学習するという自体とても興味深いことではありますが、神経科学の観点からも面白いテーマです。これが私がニューラルネットワークの研究に辿り着くまでの流れでした。

学位を取得した後は計算論的神経科学といった分野を極めたいと考えて、サンディエゴの Salk Institute で Terry Sejnowski 教授の下で 2 年間ポスドクとして働きました。また、そこでは銅谷賢治教授とも同僚でした。その後、CMU で数年間、アリゾナの認知科学・コンピュータ科学部門で 4 年間働き、2000 年にトロント大学へ戻りました。妻 (Toniann Pitassi 教授) はトロント大学で複雑性理論の研究をしていて、二人で多くの共同研究をしました。トロント大学を支えていた Stephen Cook 教授や Hinton 教授とも働いていました。

2001 年は Hinton 教授がロンドンから帰ってきた年で、同じ頃に Brendan Frey も教員になりました。数年後、私達は Sam Roweis を雇うことになります。彼は

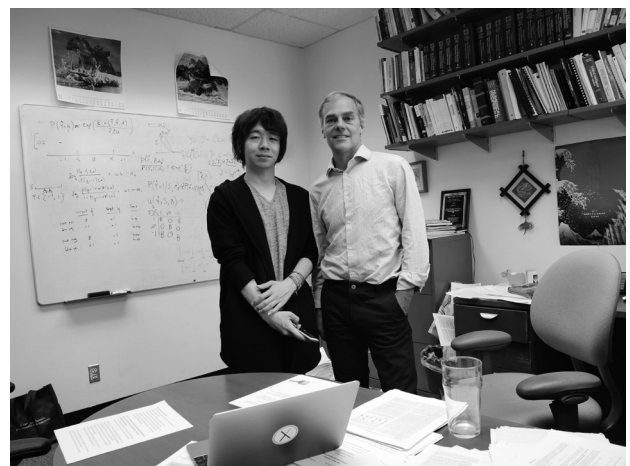


図 1 Richard Zemel 教授と記念撮影

素晴らしい研究者で、トロント大学で数年働いた後にニューヨーク大学へ移りましたが、数年後に悲劇的に亡くなりました。その後、Hinton教授を筆頭に機械学習グループは発展し、深層学習を含むさまざまな成果を出してきました。また、Ruslan Salakhutdinovが数年間滞在し、深層学習の研究に貢献しました。このようにトロント大学の機械学習グループはいつでも強くありました。思うにここは世界中の機械学習に携わる優秀な人材を輩出してきた場所でしたが、常にこじんまりとした研究グループでした。FacebookやApple、Google Brain、DeepMindのリーダー達、今世界の機械学習をリードしている人々が、ほとんど全員この機械学習グループを卒業、あるいはポスドクとして研究を行っていた人々であることを見れば、このグループが小さいながらも非常に生産的であり続けたことがうかがい知れると思います。

——トロント大学やCMUを始めさまざまな大学で働いてきた経験を鑑みて、何がトロント大学の機械学習グループを特別にしたのか、先生のご意見を教えてくださいませんか？

このグループがうまくいっていた理由の一つとしてカナダの大学システムがあると思います。米国などと比較すると教や学生に対して与えられている交付金などが少ないため、教員が学生を所有するような感覚がなく、学生同士で自由に研究したりコラボレーションしたりすることが許されています。このような学生や教員の間での共創的な空気は、研究グループごとにしっかり区切られたような場所とは大きく異なり、相互の交流が活発です。それはこのグループの長きにわたる強みの一つでもあり、私達は日々多岐にわたる種類のミーティングを行っています。学生やポスドク、すべてのメンバーがお互いに学べる、共創的で優れた環境をもっていることは伝統的な強みといえるでしょう。

——ここでトロント大学とモントリオール大学の雰囲気の違いについても感想をお伺いしたいと思います。どちらも深層学習で世界をリードする都市として知られていますね。

どちらのグループも深層学習や神経科学において伝統的な強みがあると思いますが、研究の興味においてもたくさん共通点があると思います。しかしながら、いづれから伝統的な違いも存在します。例えばモントリオール大学はここよりも古くから強化学習を研究している人々がいます。逆にこちらでは、確率モデリングやベイズネット、すなわちマルコフ連鎖やモンテカルロ法をやっている人がより多いでしょう。ただ、両方のグループに共通しているのは、どちらも急激に成長しているということで、例えばトロントのVector Instituteは新しい投資を次々と受けていますし、新しい研究者を雇いつつあります。まずRaquel Urtasunが、続いて昨年に

はSanja FidlerとDavid Duvenaud, Roger Grosseが参加しました。統計の研究においてDan Royも加わりました。モントリオールも同じで、グループの拡張と強化のために近年に多くの人々を雇っています。またどちらも企業との交流が盛んで、特にトロントには多くの企業が集まっています、彼らは機械学習を専門とする学界の人々と働きたいと考えているようです。それはまさにVector Instituteを立ち上げる推進力になりました。

——トロントは金融でとても有名かと思いますが、Vector Instituteではそれらの企業とすでにコラボレーションなどはしていますか。RBCがすでに大規模な投資をしているとも聞いています。

RBCに限らず、TDやCIBC、Scotiabankといったカナダの主要銀行が機械学習や人工知能に興味をもって投資しています。フィンテック系のスタートアップの共同創業者としてここ数年働いていることもあり、私自身は彼らとはコラボレーションはしていません。しかしながら、銀行と協働するという意味では、機械学習グループのメンバーが彼らとプロジェクトを始めつつありません。

——同じ機械学習グループのBrendan Frey教授はここ数年でトロント大学の人工知能のエキスパートがシリコンバレーへ去っていったと述べていましたが、この状況についてはどう思いますか？

確かに、何年にもわたって私達は研究グループの教員を始めとするメンバーを失ってきました。やはりそこにはシリコンバレーと呼べるものがあり、Geoffrey HintonとCraig BoutilierがGoogleへ、Russ SalakhutdinovはAppleへ去りました。しかしHinton教授はトロントに戻ってきて、そして先ほども言ったように、さらに多くの機械学習の専門家を雇いつつあります。もちろんシリコンバレーには大企業の魅力がありますが、現在私達は十分に魅力的な環境を構築できるように努力しています。



図2 機械学習グループの研究室群があるPratt Buildingの外観

——過去のインタビューで、Vector Institute を立ち上げたタイミングは適切だったとおっしゃっていましたが、それについて詳しい話を聞かせてもらえますか。

この機関は、地元の実業家を中心になって9月に始まりました。その実業家とは Tomi Poutanen と Jordan Jacobs です。彼らは街に小さなスタートアップをもって、そしてトロントニアンでもありました。シリコンバレーを筆頭に世界中を旅して様子を見ていく中で、機械学習や深層学習の人材の多くがトロントにすることに気が付きました。トロントの人々はそれに気が付いていないようでしたが、GM や Thomson Reuters といった大企業が新たに街へやってきていました。そして機械学習を学んだ何百もの博士を雇いたいと言って企業が私達のグループへやってくるのですが、私は「今年は8から10人ほどの学生が卒業します」と答えるしかなく、供給は全く足りていませんでした。良いタイミングだと言ったのはまさにこのことで、Vector Institute は急速に成長している需要に応える唯一の方法として考えられました。

この分野の専門性を備えたより多くの大学院生を育て、街へやってきているそれらの企業の需要を満たす十分な数の学生を排出することがこの機関の中核目標です。また、カナダ政府が人工知能の重要性に気が付いて多くの注目を集め始めた時期であることも幸いでした。発話認識や物体認識といった最近の成功により、映画のような夢物語ではなく、人工知能は実際に機能するもので、多くの投資を行うべきだと人々に確信させたのは大きな違いだと私は思っています。すでにモントリオール政府から5,000万カナダドル、連邦政府から5,000万カナダドル、各企業から7,500万カナダドルの投資を得ています。

——カナダと比較すると、日本は政府も企業も対応が遅れている印象を受けます。実際のところどのように投資すればよいのか持て余しているようです。

ある意味ではやはり大学から始めるべきだと思います。機械学習の基本的な考え方と応用の両方で、学部生上級生を教育することを考えています。優れた技術的背景、確率や統計、数学に加えてコンピュータスキルをもつ人々は簡単にピックアップすることができると思います。つまり、才能のある学部学生を集めて教育することができるかということが問題になります。この分野を見渡せば私のような老人もいくらかいるのですが、最近の進歩の多くは非常に若い人々によってなされてきました。だから、学部レベルから学生を迎え入れて、機械学習の良い教育を与え、彼らがそれに関わって興奮しているということが重要になります。教育を受けた学生達が産業に出て実際に問題を解決するまでには時間がかかりますが、それが差をつけて潜在的に大きな違いを生むことになります。

——Vector Institute は大学院のようではありますが、博士号は与えないということで間違いないでしょうか？

まさに私達がやり方を模索しているところです。非営利団体として、トロント大学、ウォータールー大学、マックマスター大学、ゲルフ大学などと提携しています。基本的なアイデアは、学生を含むすべての研究所のメンバーが、これらの提携大学のどこかに所属をもつということです。彼らはVectorで時間を費やし、研究所は人々が協働する素晴らしい環境になると思います。私達は機械学習のためのある種のハブを形成しますが、実際の学位は彼らが教育を受けてコースを受講した所属元から与えられることになります。これが今考えているモデルですが、あなたが言うように、論文を書いて研究を推進するという要素と、スポンサーとなっている既存の企業との協働のバランスをとることを目指しています。銀行やLoblaws, Shopifyといった中小企業、エア・カナダといったカナダの企業群、Googleのような国際的企業とも連携しています。そして、Vectorの研究者が自分達のスタートアップを立ち上げることも期待しており、それらすべてが街とモントリオールにとって有益になると思っています。

——トロント大学には機械学習をベースにしたスタートアップを促進するCreative Destruction Labといった優れた機関があると思います。これらの機関とはどのように連携する予定ですか？

ご指摘のとおり、トロントには学内外に既存のアクセラレータやインキュベータがあります。私達はCreative Destruction Labを始めとする偉大な機関を再構築することは目指していません。むしろ、彼らと提携して、研究所内の人々が企業を立ち上げたいと思ったときに、それらの優れたプログラムを利用できることを良しとしています。私はVector Instituteの研究所長としてこれらの企業のいくつかと働いていました。彼らはビジネスや他のスタートアップ企業や金融業界の仕組みや資金調達方法を知っていて、彼らによって実際にトレー



図3 Fields Instituteで隔週開催される機械学習セミナーのランチの様子

ニングを受けて、プログラムを通過していった素晴らしい人々とも話しました。非常に成功した企業もいくつかあります。私達の目的は、それを再構築しようとするのではなく、依然として彼らと協力することです。

——トロントの人工知能コミュニティを形成していくにあたって、実際に先生が計画されていることは何でしょうか。

これらの強力な研究者を抱え、AIコミュニティに研修プログラムやセミナーを提供するというを考えています。それは私達がしようとしていることの大部分で、私はすでにいくらかを実現していると思います。Fields Instituteのセミナーなどは、良いスタートだったと思っています。機械学習の学术界、産業界の人々を半分ずつ招き、トークの後には相互に交流できるランチセッションを設けていますが、これはとても成功しています。

——世界中から優秀な研究者を招くにあたって計画していることはありますか。また、ドナルド・トランプ米大統領はいくらかトロントを助けたでしょうか？

しっかりと求人をするのが一つですが、何よりもこの場所を楽しく働く場所にできるかどうかにかかっていると思います。また、産業界は彼らに高給を支払うので、私達も十分に支払うことが重要です。そして、彼らが研究の自由や権利を得ること、論文を自由に出版する権利や起業する自由をもっていることが大事です。また、人々が米国内の政治に不満をもって移動を検討している動きは確かにあると思います。移民はもちろん米国民自身であってもです。それらの人々にとってはカナダへ来るのはとても良いタイミングだと思います。

——つい最近、日本でも産学でのクロスアポイントメント制度が始まりましたが、いまだに産学連携の動きは限られているように感じます。Vector Instituteではどのような形を考えられていますか？産学連携について課題はありますか？

いくつかありますが、第一に、産業界と研究契約を結んでいます。産業界は、学生支援のためにお金を払うことによって、ある意味で研究費を支払うことになります。そこには長期にわたる業界と学術のコラボレーションが

あります。他にも誰かが出向したり、時間契約のコンサルタント契約のようなモデルもありますが、より典型的なことは研究契約にあります。エンドレスサマースクールと呼んでいる、1か月に一度スポンサー企業の研究者を招いて、いくつかの研究分野の最新の実践について学ぶ講義も提供する予定です。また、彼らは自分達の取り組んでいる問題とデータセットを私達と共有するでしょう。それらが目標ですね。

こういった連携でしばしば困難になるのは、一般に共有したくないデータセットが提供されるといったことです。共有可能なデータを使って良い論文を発表できるような、研究者が望むものについて研究をする学問的自由があって、論文を出版することができるということは重要なアイデアです。

——最後に、この分野へ進みたいと考えている日本の学生に向けてアドバイスをください。

もしも本当にこの研究分野に参加したいのであれば、その背景を得ることは良いことです。重要な背景は、例えば確率や統計、コンピュータサイエンスと数学でしょう。機械学習の応用分野で研究をしたいと思うことも多いかもしれませんが、必要となるのは、しっかりと方法を学び、自分の研究の興味を理解するための、優れた機械学習のコースです。さらに、あなたは今知られているすべての研究と、人々が考えている問題の種類を見て、流行や誰かが読んでいるものに惑わされず、最も興味深く思える問題、より良い解決策がありそうな問題を探する必要があります。そういう開かれた問題を解決するのは面白いものです。もしそれらの研究に興味をもてたなら、機械学習研究の発展に思いを馳せることを楽しめるでしょう。

——お時間をいただきありがとうございました。素晴らしいインタビューでした。

※紙面の都合上インタビューの一部しか掲載できませんでしたが、詳細にご興味のある方はぜひ筆者のWebサイト (<http://hiroshi-skm.com/ja/>) をご覧ください。

〔佐久間 洋司 (大阪大学)〕