コモンズ構築と利用のための知識表現

Knowledge representation to build and utilize commons

クレイネス・スティーブン

Steven KRAINES

東京大学総括プロジェクト機構

Division of Project Coordination, The University of Tokyo

〒277-8563 千葉県柏市柏の葉5-1-5

E-mail: sk@scint.dpc.u-tokyo.ac.jp

1. 情報爆発と新たな可能性

今の社会問題は、間違いなく大規模かつ複雑で、緊急に解決すべきものになっているのですが、その一方で、著しい学術知識の蓄積があります。仮に、科学知識コモンズが成立していれば、そこに、社会問題を解決するための多くの答えがあるはずだと期待しています。また、科学知識コモンズを構築するために、本質的に人は協力したい、非常に協力したいのにうまく協力できていない。要するに何らかの障壁がそこにはあるのではないかと思います。その一つが、科学知識コモンズが成立した時にそれをうまく活用するための準備が出来ていない、そのためにコモンズの有効性や必要性を広く確信させるに至っていないということではないかと私は考えています。

現在、情報の爆発が問題としてしばしば取り上げられています。しかし、よく考えてみると、この情報爆発は、本来問題ではない。より多くの情報があること、それ自体はいいことです。ところが問題だという。どうしてでしょうか？要するに、情報爆発

が、機会の爆発になればいいのですけれど、なかなかない。なんとかして、情報爆発を機会爆発に変換することが私の研究の目的です。

他の講演でも議論されているように、科学知識コモンズを構築する障害がいくつかあります。一つは、法的なライセンスやコピーライトに関する課題があります。もう一つはビジネスモデルなどの経済的な課題です。これらが解決すれば、確かにフリーのコモンズは成立するかも知れません。しかし、フリーのコモンズだけでは、今ですら、Google で何を検索すればいいかわからなくなっているのに、情報がオープンになって、コモンズ上に蓄積される情報量が増えると、さらに情報爆発に伴う課題が増えるのではないかという心配があります。

2. Fluent なコモンズに向けて

現在でも、適切な情報を探すのは難しい。また、検索してもわかっていることしか見

つからないといったことがあります。それは結局、法的、経済的にコモンズを作ること、また、法的・経済的にアクセシビリティを確保すること、それも非常に重要なのですが、意味的なアクセシビリティも担保しなければならないということではないかと考えています。そのために、Free であることに加えて、Fluent なコモンズを作らなくてはならないと考えています。

Fluent なコモンズとはなんなのか、もう少し具体的にお話したいと思います。人間は知識を処理する能力がある、しかし、やはり限界があります。たぶん勤勉で有能な研究者でもせいぜい年間 100 本くらいの論文しか、きちんとと把握する時間がないのではないのでしょうか。特に企業にいる方々はそんなことはとてもやってられない。大昔であれば自分の研究に関連する論文数が、読める量と同じくらい、あるいはそれ以下であったために、関連する論文を全て読み切れたのでしょう。しかし、今では、論文の数が増えている一方、人間の能力というのはなかなか向上しないので、当然全ては把握できない。今の状況を例えていうと、情報の海の中で、自分の関連する知識や良い論文がひっかかるよう、運を天に任せている状態だといえるかもしれません。おそらく、今の研究者、特に統合的な研究課題に従事している人たちにとって、毎年出版される、自分の研究に関連する論文の数は、簡単に 1 万通に届くと思います。

この本来把握しなければならない 1 万通を、たった 100 通だけしか読めない人がどのように把握すればよいのかというと、基本的に 2 つの方法があるのではないかと考えています。1 つは、コンピュータに任せてしまう。例えば、テキストマイニング技

術を用いて、1 万通を 100 分の 1 に圧縮して、100 通くらいの分量に減らすといったことです。もう 1 つは、正確なマッチングによって、1 万通の中で本当に読むべき 100 通はどれかを正確に探し出すことです。

それでは、1 つ目の方法はどこまで期待できるでしょうか。これまでコンピュータでどこまで可能か、多くの研究がなされてきました。自動知識マイニング、自動要約、知識発見、in silico と、それぞれの研究者が作ったいろいろな言葉がありますが、大きくいうと 2 種類の方法が良く用いられています。1 つは、手動あるいは自動で作ったテンプレートやルールを使って、個々の論文から知見を抽出することです。もう 1 つは、数多くの論文を見て、その中のキーワードか何か、それらの相互関係を使って、知識を抽出することです。

いずれにしても、コンピュータを用いて分析するためには、コンピュータがコンピュータの処理できる形に、人間の言葉を翻訳しなければいけないのです。しかし、それは矛盾しているのではないのでしょうか。人間が人間のために書いたコンピュータがもともと読めない文章を、どうしてコンピュータが処理できるのでしょうか。これについては、いろんな人がいろいろなことを言っています。例えば Erhardt さんが、もう何年も前に“NLU is an AI-complete problem”という言い方をしました。要は、NLU(Natural Language Understanding)は AI でも解決できない問題だということです。根本的な問題は、自然言語の曖昧性です。そのため、コンピュータにとって自然言語を理解して処理しようという試みは、“Garbage in, Garbage out”であるといえるでしょう。

そもそも自然言語からの自動抽出はそれができたとしても、はたして良いことと言えるのでしょうか？研究者は、論文を書く時、非常に苦勞して、コンピュータが処理するためのものではなくて、人間が読むためのものを作ります。そのためにいろんなストーリーや論理構造、文法を使います。それをコンピュータに任せて抽出して、抽出した結果しか、人が見ないとすると、何かおかしい。それをおかしいと言っている人が実は既にいまして、学術論文を書くのをやめて、別な形、例えば、すべてデータベースのデータとして出版してはどうかということを行っています。でもそれはちょっと違うと思います。何百年の経験によると、やっぱり未だに学術論文は最も有効な科学技術に関する専門知識の伝達媒体であるのです。それは既に指摘したように、学術論文はストーリーであるし、論理構造であるからです。"The role of paper is to convince the reader."つまり、論文とデータベースでは役割が違うのです。

もう少し詳しく考えたいのですが、科学技術の専門家は、何のために論文を書くのでしょうか？よく言われるように、起源は文通ですよ。Physical Review Letters とか、Communications of ACM といった著名な学術雑誌の名称にも表れているように、もともとは例えば、アイザック・ニュートンがオリジナルなアイディアを着想すると、それを手紙に書いて、友人みんな知らせて、友人は自分の考えとマッチングして返信する、それでみんなで知識を共有して、研究を進めていくのです。送信者と受信者の間に広大な海があったとしても、信頼性の高い郵便局に任せて、本当に読むべき、知らせるべき相手の元へ届けて貰っているの

す。

残念ながら現在では状況は違います。私のような若い研究者だけの悩みかも知れませんが、今、論文を書くとこれは手紙ではなくて、瓶に詰められたメッセージなのです。一生懸命書いた論文を瓶に詰めて、コルクをかけて海に捨てて、運を天に任せて、または Google Scholar に任せて、適切な人にメッセージが届くのを待っています。これは情報量の増加とともに、グローバル化、知識経済課とともに、社会が必要とする専門家の数が増えて、誰が本来届けるべき相手なのか私が把握しきれないからでもあります。確かに論文を探している人は一生懸命探しています。いろんな技術を使ったり、Google を使ったり、Web of Science を使ったりしています。しかし、それはスピードボートで、あちこち瓶を探しているようなもので、それでもなかなかどの瓶を拾えばいいか判断するのが難しい。

今の問題は needs と seeds のマッチングではないかと思います。昔は、フランシス・ベーコンが言ったように、「知は力なり」でしたが、今のインターネットの時代、知識を持っている人がパワーではなくて、他人の注目や時間を集められる人がパワーとなっています。また、個人や社会にとって、時間が希少資源になっていると思います。現在のボトルネックは、分野も違いもあると思いますが、情報が足りないということではなくて、溢れている情報の中からどれとどれの情報を使えばいいか、限られた時間の中で、良いマッチ・メイキングが出来るかどうかだと思います。高度な情報検索技術を用いたサーチエンジンが本来それを可能にしてくれるはずですが、理想のサーチエンジンは諺で言うと、"The diamond in

the rough”, それを探したいですね。玉石混交の中からダイヤの原石が欲しい。みんなが当然知っている情報ではなくて、diamond in the rough, だけれども、やっぱり pagerank や citation の数を手掛かりに探すと、The rich get richer, 結局、知られているものしか知れないのです。

本当に必要な情報との意味的なマッチングを可能とするためには、ただ統計学的な pagerank だけを使うのは不十分です。さらには、matching の precision をあげる、要するに正しい答えのみを探すだけではなくて、recall をあげる、つまり、通常の検索が落としてしまうような答えまでちゃんと探すような検索が必要です。

3. 科学知識の伝達とコンピュータによる理解

それではどうすれば良いのか？ここで科学知識の伝達とコンピュータによる理解ということを考えてみたいと思います。いうまでもなく、科学的な知識は社会的な課題の解決において重要な役割を果たしています。しかし、それを以下に伝達するか、特に情報の広範な伝達に Web が必須となっている現代において、以下に伝達するかということは非常に大きな課題です。

ある人が社会問題の解決に繋がるようなアイデアを何か持っていて、それに関する文章を書いたとします。それが適切な人に届けば、問題の解決に何らかの形で貢献するでしょうが、今の状況だと必ずしも届くとは限らない。役に立つ知識を探している人は、探すべき量が多いし、誰に聞けばいいかわからないから、コンピュータに任せてしまう。ですので、コンピュータがちゃんと機能しないと駄目だし、コンピュー

タにとって理解可能な知識の記述が必要です。検索側は当然、コンピュータに理解可能な形で検索を行います。クエリを作って、人によっては、ブーリアン検索までやったりするのですが、知識の側はどうなっているのでしょうか？今は、情報抽出や自然言語処理を使って、コンピュータがコンテンツを、人間が理解可能な領域からコンピュータが理解可能な領域へと無理やり持っていこうとしているのです。

現在の検索システムは、ものすごく性能の良い受信機のみを使っているといえるかと思います。その受信機にいくつかキーワードを登録すると、その受信機が一生懸命にレーザーを使ってアンテナにひっかかるものがないか探して、当てはまるキーワードがあれば「これがいいかも知れない」と言っているのです。しかし、マッチングの精度を高めるためには、発信機を作らないといけません。その発信機は人の使うものではなくて、人が使っている受信機のための装置という意味です。各論文が自分の持っている知識の中身について、受信機に分かる形で発信する。そうすれば、精度よくマッチングして、関連する論文が拾えるのではないかと思います。

この発信機の持っている知識の記述は、コンピュータではなく人間が作るべきものだと思います。そのために重要な課題は、「人間がコンピュータの処理できる記述を作るときに、どのような言語を使うべきか」ということです。それでは、コンピュータが理解可能な表現っていったい何なのでしょう？

4. コンピュータが理解可能な表現

まずは理解、英語で言うと to understand,

ということ、よく考えなければならないと思います。様々な定義がありますが、科学の理解にもっともふさわしい定義はこのようなものかと思います。"To perceive and comprehend the nature and significance of"もしくは、"To grasp the significance, implications, or importance of". 要するに、科学技術的な表現を理解するというのは、統計処理だけではないんです。"asserted facts"から"implied facts"を推論したり、表現した expression を事前にある mental models にマッピングしたりして、新たな意味合いを推論したりするということです。

また、科学技術での fact は、ただ一つ概念で表すことができるものではないのです。本質は、概念同士の関係にあります。従って、コンピュータが理解可能な表現であるためには、概念同士の関係が表現できる知識表現である必要があるかと思います。

そこで、我々が使っているのが、記述論理に基づいて、概念間の関係性を表現する記述論理オントロジーです。記述論理と言うのは、first order predicate logic、人間が比較的に理解しやすいように修正した論理だと私は考えています。それは対象分野の概念の関係も、人間が共有する知識の対象物の関係も十分に表現できるように作った理論的な言語です。かつ、現在のコンピュータ・アルゴリズムによって計算できる言語です。そのため、記述論理に基づくオントロジーを使うことで、人間はコンピュータが意味的に処理できる記述を作成することができます。そのプロトタイプとして、私は記述論理オントロジーを直感的に簡単に作成可能な Web システム、EKOSS (Engineering/Environmental Knowledge Ontology-based Semantic Search)システムを

作成しています。

EKOSS システムは、コンピュータが理解可能な記述に基づいて記述論理の推論をしようとする、インテリジェントな検索の実現を目指しています。知識の探索者が、知識の提供者が意図した内容で、概念間の関係を得られるように、さらにいうと、個々の知識を組み合わせることで、個々の提供者が想定していた以上の知識を発見できるようにしたいと思います。検索エンジンが知識記述と、検索条件の関係、さらに、存在する潜在的な理論関係も探し出せるようになれば、検索の precision も recall も上がると期待しています。

EKOSS システムを使って、JTS の失敗知識データベースに格納されている事例を記述して分析した例を使って、具体例を紹介したいと思います。例えば、ある人、例えば工事現場の主任が自分の担当の現場で、特にその現場のような都市地域で、事故が起こらないようにどのようにチームをマネジメントすれば良いか、過去の事故の事例から学びたいと考えたとします。通常は、幾つかのキーワード、例えば、工事現場、建設、土木、組織といったものをクエリとして、Google か何かで検索すると思います。そうすると、里地通信や臨海副都心や入学試験など、およそ無関係なものが検索のランキングの上位に現れてきてしまいます。また、仮に該当するページがヒットしたとしても、事故がマネジメントとどのように関係しているのかすぐには把握できない。ところが、EKOSS システムを用いて、各知識に、記述論理オントロジーを与え、それを用いて検索すると、溝の堀削作業中、コンクリートブロック塀が倒壊した事例がマッチングし、なおかつ、それが手順を無視

した手抜きから生じたものであるということまでもが瞬時に理解出来てしまいます。この概念間の関係性の把握ということ大変重要であると考えています。現在のシステムではまだマッチングは完璧とはいえず、違う事例もマッチングされることがありますが、それでさえ、オントロジーを用いた検索では、検索意図に対して、何らかの示唆を与える場合が多いのです。

しかし、このような検索システムが有効に機能するようになるには、まだまだ問題があります。受信機と発信機の例えでいくと、発信機を備えている知識の数が圧倒的に足りないのです。そうすると、検索システムとしては、発信機を備えている知識のみを探しては、とても検索要求に耐えることが出来ない。従って、発信機を取り付けてくれる人の数を増やさないとはいけません。そのためには2つの重要な条件があるかと思います。1つは受信機を使うシステムも発信機を取り付けるシステムも使いやすいこと、もう1つは、使ったらすぐ利便性が見えることです。

まずは、*Ease of use*, 使いやすいために、直感的に記述論理オントロジーを作成、利用可能な使えるツールが必要になってきます。また、*Instant gratification*, すぐに利便性がわかるようなものにするには、様々なアプリケーションが必要になってきます。私は、このような人間の手でコンピュータの理解可能な記述を作り、それを膨大な量の知識に対し実装していくことが、今後ますます必要になってくると考えています。

しかし、*Ease of use* といっても、やはり単なるキーワード検索よりは個々の検索に時間がかかります。しかし、Google 検索では一回一回の検索はすぐにできるとはいっ

ても、ちゃんとマッチングしたサイトに辿り着くには、ブーリアンサーチとか一生懸命考えて繰り返し行う必要がありますし、繰り返したとしても、すぐに精度は *saturate* してしまう。その一方、EKOSS システムでは *class* を選んだり、*instance* 名を入力したり、最初はやはり時間がかかってしまう。でも *property* と *instance* を結んだり、複数のグラフを作ったりすることによってどんどんと精度を上げることが可能です。

また、知識を記述する側にも余計な時間がかかります。自然言語に加えて、機械可読な言語で知識を用意するわけですから、よく指摘を受けるのですが、論文を書いている人は大変忙しくて、さらにややこしい記述を作ったりすることは、これはもうとんでもないと。でもよくよく考えてみると、研究者は、論文を作るために非常に時間をかけています。それこそ何十時間と。論文を書くために研究をしている時間は何百日もかもしれない。しかし、その結果として出来た論文は *Nature* とかみんなが必ず見るようなジャーナルだったらいいのですが、私たちが書く論文の多くはどこに行っちゃったかという感じです。キーワードをあちこち登録したり、自分の論文をあちこち宣伝すればもう少し読まれるようになるかもしれない。しかし、やはりそれは限界がある。自分の論文のオントロジーを作るのに1時間かかったとしても、論文を書く100時間に比べれば、それほど過大な負担とはならないと思います。

次に、*instant gratification* ですが、明らかにキラーアプリケーションが必要です。私たちは良く言うのですけれど、キラーアプリケーションとして、次の Facebook を作りたいのです。*instant gratification* とするには、

community of practice が成り立たないといけません。そのためには、すぐにわかる付加価値が必要で、なんとなく長期にはメリットがありそうだとっても、なかなかそれだけでは動かない。

それで、我々の行っている一つの試みが自然言語生成です。記述論理オントロジーに基づいて作った semantic network があります。これは、膨大な複雑なグラフで表現されます。これはやっぱり人間には読めない。人間はこういうものを読むのはやっぱり辛い。でも、この内容はコンピュータが理解できる。コンピュータが理解できるから、正確に自然言語に変換や翻訳ができます。日本語で表現する場合、英語で表現する場合、中国語で表現する場合、概念をオントロジーとして登録することで翻訳が出来る。よくよく読むと、当然、あまりきれいな文章ではないのですが、正確な文章になっているはずで、これがポイントです。コンピュータが意味をわかるから、正確な表現になっているのです。

ここまでの話を堅苦しい表現でまとめると、モノとモノの特定した関係が表現でき

る記述論理に基づく知識表現言語を用いて、人間がコンピュータ理解可能な記述を作れば、その記述を用いて、コンピュータが知識リソースの間の意味的なマッチをする際、そのマッチは現状より極めて正確かつ「面白い」思わぬ関係を探し出せるものになるはずであるということです。コンピュータが理解可能な semantic search が実現できれば、ルールや理論に基づいた、人工知能的なインテリジェントなマッチングや推論が可能ですし、数多くの知識が記述論理オントロジーで表現されれば、それをマイニングすることで、色々な知識の発見がうまれてくると思います。Free なコモンズの実現は非常に重要な課題ですし、重要であるにも関わらず未だに十分に実現できていません。しかし、実現できていないからといって、コモンズの利用技術に手をつけないのではなく、今の段階から、Fluent なコモンズを実現するための技術の開発に着手すべきであるし、コモンズに登録される知識の表現形式についても議論を始めるべきであると思います。