

# 学習工学の展開



平嶋宗さん

(広島大学大学院先進理工系科学研究科・教授)に聞く

決められた内容をいかに効率よく教えられるかを考えることは、もちろんおかしなことではありません。しかし、それだけでは何かさみしい感じがしないでしょうか。そこに足りないものは何でしょうか。

平嶋宗さんが展開する「学習工学」についてお話をうかがいました。テクノロジーで学習を支援するとき、表現され外化された学習対象が教師と学習者に共有され、複雑なインタラクションが起きていました。

インタビュアー：CIEC 会誌編集長 寺尾敦（青山学院大学）

## 「学習工学」の背景

**寺尾** 最初に平嶋先生のご研究の背景からおうかがいしようと思います。先生はもともと工学部出身でいらっしゃいますよね。学部は応用物理でしたでしょうか。

**平嶋** はい、そうです。

**寺尾** 人工知能の研究者には物理出身の方がよくいらっしゃいますが、教育分野ではそれほど多くないように思います。先生は、教育へのご関心はいつごろから持たれていたのでしょうか。

**平嶋** 僕は物理から人工知能の研究室に行きました。そこで学習者のシミュレーションをやっているところがあって、そこからです。普通に人工知能の研究に入って、人工知能の中でも、人の間違ふことをどうやってモデル化するかというところから学習に行ったので、教育というよりも学習です。

**寺尾** なるほど。いま、教育というより学習とお話しいただきました。平嶋先生が提唱していらっしゃる学習工学という分野の名前ですね。教育工学というのは既存の分野としてあるわけですが、教育工学ではなくて学習工学という名前の領域を立ち上げるこだわりは、おそらく

そこに関係しているのでしょうか。

**平嶋** そうですね。先生を研究したいというよりも、学習者を研究したかったのです。教育工学は先生がどうやって教えるかということにやはり主眼が行くので、そうになると興味の焦点が少し違うなという気がしています。学習者がどう振る舞うか、何を学習するのかということ突き詰めようとする、僕にとっては、それはやはり人工知能の話になるのです。先生がどう振る舞うかというのは要素の一つにすぎなくて、全部ではないということがあって、そのような研究をしていたのです。もうひとつは、時代的に学習科学（ラーニング・サイエンス）をみなで頑張りましょうという影響もありました。ただし、サイエンスではなくてエンジニアリングとしてやりたかったので、学習工学という名前にしています。

**寺尾** 教育工学でもないし、学習科学でもない。あくまで工学であるということでしょうか。

**平嶋** そうですね。「ない」というのは少し言いすぎでしょうけれども、重点がどこにあるかということ、どうしても教育ではないしサイエンスではない。自分が一番重点を置いているところはやはり「人が学ぶとは何か」ということと、それをどう助けるかということ。人の学習を観察しようとするよりも、どう変えるかに焦点を

当てます。ラーニング・サイエンスは、重なる部分は多いのですが、やはり観察したいのだと思います。僕は変えてしまいたいのです。それで、「学習工学」と言えればいいかなと思って。それほど大それた意味ではなくて、研究室の名前として学習工学を名乗っているだけなのですが。

**寺尾** おっしゃりたいことは非常によく理解できます。サイエンスだと、学習者はこのようにしていますというか、こう理解していますということであって、ではどうしたらうまく行くのかはその次のステップになりがちかもしれません。

先生の研究室のウェブページによれば (<https://www2.learning-engineering.com/introduction-learning-engineering>), 「教育」では先生は中心的な存在ですが, 「学習」では学習者にとって利用可能なリソースのひとつという位置づけですね。

**平嶋** そうですね。もちろん現場の先生と一緒にいろいろやったりしているので、先生の実在は重要ですが、先生はこのようなことから学習がうまくいくという形にしたいと思っています。

**寺尾** 平嶋先生のご研究は、完全にシステム化されたeラーニングというよりも、教師の役割がかなり大きい設計になっているという印象を持っています。

**平嶋** そうです。やはり生徒に対して先生は影響があるし、先生が一番よく知っているのです。先生といろいろ

一緒にやるとすごく面白い。たとえば、先生がツールをどう使うかにはすごく興味があります。ツールを使うと学習対象への関心が変わってくるのです。生徒が変わるというのがまずあって、その次に先生も変わります。そこがすごく面白いのですが、それを教育という枠に入れてしまうと、もう教えることが決まっているかのような話になってしまいます。そもそも何を学ぶべきかを変えようという話ができればいいと思うので、教え方をうまくしましょうというより、実は学ぶ対象はこれだったのではありませんか、というようなことが取り出せると面白いかなと考えています。

これを人工知能研究の立場から見ると、学習者が学んでいる学習対象はどのような構造を持っているのかということです。知識工学と言われる分野では、学ぶ対象をどうやって記号的に表現するかを考えますが、そうした表現に新しい解釈を与えようともめています。それに近い話です。

**寺尾** 学習対象として問題に取り組むとき、思考力や読解力といった言葉が使われますが、それは少し抽象的すぎると私は思っています。学習対象はどのようなもので、学習者や教員はそれにどうアプローチするのか、もう少し明確にしないと見えてこないと思っています。

**平嶋** その通りだと思います。僕は人工知能をベースにしているので、計算可能性を追求したいのです。計算機も処理できるけれども、先生も生徒も同じように処理できるはずだという、3者が共通の表現を持って共通の処理を行えるように対象を記述するにはどうすればいいか



というのがテーマです。思考力など抽象的なことは僕もうまく伝えられません。

**寺尾** 私はもともと認知科学がベースだったので、人の思考が計算機にのるという考え方はよくわかります。

**平嶋** そうですね。ある程度のとっている、少なくとも説明するときの思考はのっているのではないかと思います。

**寺尾** 平嶋先生が書かれていることを少し読ませていただいて面白く感じたことのひとつが、ガリペリンの知的行為の多段階形成理論という、わりと古典的な心理学が出てくることです。教育に関心を持つ心理学者でも、あまり言及しないのではないのでしょうか。

**平嶋** 古典的なことにまだたくさん解けていない問題があると思っています。みながどんどんいろいろな新しいことをやっているのはわかっているのですが、それをやる前にやるのがたくさんありそうだなど。僕自身は、普通の探索的な問題空間に、どうやって従来の課題を落とし込むかということをやっているのです。でも、それでさえまだうまくできていないから学習者が困っているのではないかなと思っています。だから、複雑なプロセスよりも適切な表現が欲しい。

パパートさんの『マインドストーム』という本がありますね。僕はあれに書いてあることをやっているつもりなのです。ただ、普通の人から見ると、僕の解釈はちょっと違うのかもしれない。パパートは、思考プロセスについてすごく難しいことを言おうとしたのではなくて、すごくいい記述を持ってくればものはわかるのだと言っているのではないのでしょうか。僕もパパートのいろいろな研究を読んでいるわけではなくて、最初の『マインドストーム』しかきちんと読んでいないのですが、あそこで言っていることは、いい表現を持ってくればものは理解が簡単になるということだと思っています。僕はそれを探しているつもりなのです。ガリペリンも、操作可能性の議論をしていたので、自分のやろうとしていることとすごく相性がいいかなと思って使わせてもらっています。そういう意味で言うと、ガリペリンの言っていることを本当にわかっているかという、ちょっと困ってしまうのです。ただ、彼のイメージしている操作可能な部品をどうやって持ってくるかと。ガリペリンやパパートなど教育についての初期の認知科学や人工知能の人たちはみな、どのような部品を持ってくればいいのか一生懸命

考えていて、たぶん、そこからそれを動かすプロセスの方に行っている。だけど、どのような部品を持ってくればうまく思考が動くかを僕はいまだにやっている。僕の感覚では、やはり現場はそれだと思っているのです。現場の先生たちに僕がある程度受け入れられているのは、先生や子どもに受け入れられる表現をどうやって作ろうかということをやっているからだと思います。

## 作問で算数文章題を学習する「モンサクン」

**寺尾** 先生のご研究や背景の全体的なお話をうかがいましたので、ここから少し具体的なご研究についてお尋ねしたいと思います。最初に、作問で算数文章題を学ぶ「モンサクン」からお聞きしようと思うのですが、このモンサクンという名前はどのようにつけられたのですか。

**平嶋** 作問だからモンサクンにただけです。小学校に持って行ってやるので、子供たちからの呼び名があるよねという話になって。子供たちが呼びやすい名前をつけようという理由です。「クン」はつけないといけなくて。名前としてはあまりよくなかったかもしれないですが。

**寺尾** いえ、親しみの持てる名前だと思います。先ほども少しお話にあったのですが、小学校や中学校の現場の先生方と共同で研究していらっしゃるんですね。そうした共同研究は、今はかなり広がっているとはいえ、大学の研究者が現場の教員と一緒にやっていくことは難しい面もあると思います。平嶋先生はそのような関係をどのように作ってこられたのですか。

**平嶋** 本当に個人的です。飛び込みに近いですね。公式のルートではなくて、知っている人に紹介してもらって、こちらのことを説明して気に入ってくれた人がいればいっしょにということの繰り返しです。継続的にやるのはなかなか難しいところがありますね。モンサクンのようなツールを学校に導入しても、その先生がいなくなると使われなくなるとということが繰り返されてしまいます。

**寺尾** モンサクンは、既存の文章題を作り変えるのではなくて、存在文と関係文を選んできて並べて、うまく全体がつながるように作るというシステムですよね。これが先ほど少しおっしゃっていた、操作可能な部品を外化する、見えるようにするということですね。

**平嶋** はい、そうです。文章の構造を見せたいのです。量を表す命題3つで文章ができているという基本モデルを作っていて、それを組み立てるということをしているのです。あれがいいのは、システムのフィードバックを返す機能はあるのですが、先生と学習者が同じものを使って話ができることです。個人でシステムを使うことは、それはそれで研究としてはいいですが、教室の前で先生がやるときに子どもたちが連動して議論するというのが、僕には一番面白い活動です。このカードは置けるか置けないかという議論が、先生がうまく誘導するとすごく盛り上がるので。その議論を聞いていると、子どもたちはこちらのモデルが持っている存在量や関係量をきちんと区別して扱っています。構造をうまく表現すればわかるのだという感覚を僕は持っています。

**寺尾** なるほど。学習者は古典的なインテリジェント・チュータリングシステムのように1人で学習するのではなくて、先生もいるし他の学習者もいるという環境で学習をしています。そうすると、学習者同士、あるいは教員との間の相互作用が起きますよね。これも一種の外化だと思うのですが、自分の考えという、ふつうは頭の中だけで閉じてしまうものを外に出して友達と話す、先生が見せてくれるということがあって、その次には外に出されたものをもう一度自分の中に取り込もうとする。そのようなインタラクションが起きるのが重要だとお考えでしょうか。

**平嶋** そうなのです。研究ができているのはどうしてもシステムに閉じたところになって、外のところはなかなかうまくできていないです。しかし、少なくとも僕がこの研究を続けられて、面白いと思っているのはその部分です。子どもたちが、自分で解いているときは全然違うアクティビティをしているし、先生もすごく手ごたえがあるようだから。そういう意味で言うと、モンサクンは、コンピュータに処理できて、子どもたちも操作できるようなツールを作ったつもりだったのですが、コンピュータ上でやるよりも外でやった方がもっと面白いよんだというのが今思っていることです。たぶん、そのような道具というか部品を、教育は実は持っていなかったということなのかなと。おっしゃるように、インテリジェント・チュータリングシステムのために作ったのだけれど、それをどのように外在化していくか、システムの外側で人が使うものにするかということが、僕が興味を持っているところになります。

**寺尾** そこは非常に面白いです。私は、カーネギーメロン大学の、インテリジェント・チュータリングシステムを作っている組織でポスドクをしていたことがあります。あの人たちの発想だと、基本的には全部システムの中に落とし込むわけです。平嶋先生のモンサクンは、チュータリングシステムとして確かに完成されている一方で、教室の中での多様な学習リソースのひとつになっているのが面白いと思いました。

**平嶋** 背景が知識工学だからかもしれません。知識工学は、学習者も先生もコンピュータも解釈できる表現を、どのようにシンプルに作るかということをしているので。コンピュータの中だけでやるのはちょっともったいないという話ですね。

**寺尾** 作問するとき、どんな問題でも自由に作ろうとすると認知的な負荷が大きいように思います。モンサクンは、本質的な部分だけでうまく試行錯誤ができるように設計されていますよね。

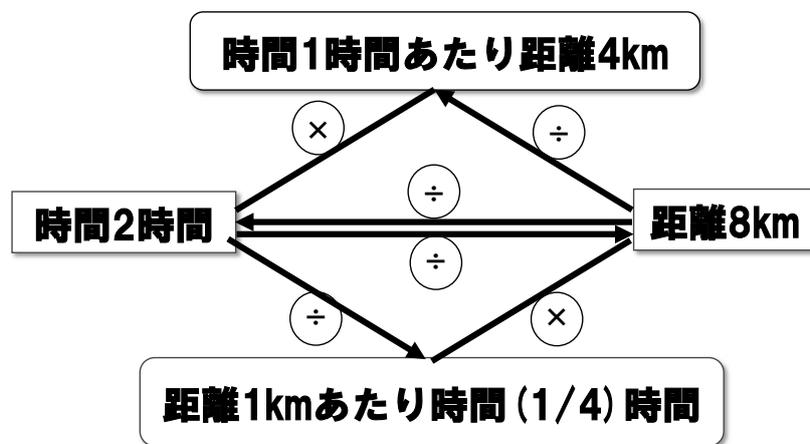
**平嶋** はい、そうですね。そこは頑張ってやりたいところです。部品を用意しているけれども、子どもたちはすごく積極的に試行錯誤してくれます。提供した部品をどのように変えるかまで、きちんと考えてくれます。部品を提供するという事に抵抗感がある人はいるようなのですが、現場で見ている限りは、部品を提供することによって思考が限定されることはほとんどありません。部品をちょっと変えていいよというオプションをつけると、きちんと変えることができるようになります。

**寺尾** 先生の論文を拝読して、学習者が非常にうまく試行錯誤していることが印象的でした。「こうじゃないか」という仮説を学習者が作って、やってみて、その結果がフィードバックになっていますね。

モンサクンについてももうひとつお聞きしたいのが、文章題に含まれる数量の「全体部分関係図」です。あれは図的な表象とシンボリックな表象との統合という点で面白いと思っています。文章題での立式は、言語的な命題で表現されている問題から数学の式に変換するというプロセスですが、この変換をするときに図的な表象にも役割があるように思います。シンボル（言語）からシンボル（数式）への変換だけではなく、全体部分関係図が添えられていることに非常に興味を持ちました。あの図はどのような意図で入れられているのでしょうか。

平嶋 直接的には、作問で選択した文の並びが誤っているときに、なぜおかしいかを理解するためです。足し算・引き算の文章題での数量は必ず全体部分の関係にあるので、この並びでなぜおかしいのかということ、図にあてはめて考えればわかりやすいかなと。「自分で判断できるよね」ということで入れているというのが直接的な意図です。おっしゃるように、量の関係がどのようになっているのかという、スキーマのようなものをどうやって与えるか、どのようなスキーマを持っていたら考えやすいのかをいろいろ模索はしているのです。全体部分関係図は量の関係をそこから読み取れるので便利なのですが、足し算・引き算でしか使えないから、掛け算・割り算を含めた四則全体をどうするかはけっこう難しいなと思っています。

実はちょうど今、掛け算・割り算で数量の関係を図的に表現することを試んでいます(下図)。掛け算・割り算だと関係する量がもう1個出てきて、4つの量を乗除の関係ですべて表現します。そうすると、小学校でやるいろいろな問題が、答えが小さくなる掛け算も答えが大きくなる割り算も、すべて説明できます。全体部分関係図のようには計算の方法が見て取れるわけではないのだけれど、演算関係は見て取れるというものです。ちょっと抽象的で申し訳ありませんが、要するに、リンゴが4つあってお皿が2つあったら、1皿あたり2つリンゴがあるということと、リンゴ1個あたりにお皿が1/2枚いるということは同時に発生するので、それを全部わかってもらえるような方法を取れば、算数の文章題で読み取ってほしい量の関係をほとんどそこで表せると思っています。



文章題の統合的認識のための二重三角スキーマ  
(速度／ラップタイムの事例)

## 「キットビルド概念マップ」で理解を構築

寺尾 「モンサクン」と同じく、平嶋先生の開発された「キットビルド概念マップ」のことについてお聞きしたいと思います。概念マップも思考の外在化ですね。

平嶋 そうですね。先生が教えたい内容を表現した概念マップを、先生の思考の外在化とみなして、これを先生と生徒で共有しようという考え方です。生徒は、教師のマップの概念と関係性を部品として、教師の理解を再構成することを試みます。生徒は、自分がわかっていることがないといけません、部品は他者が作っているもので、他者がどう考えているかを作っていることになります。先生はこう思ってマップを作っているのではないかと考えながらマップを作らないといけません。先生の部品を自分の理解で解釈しないといけないから、それがクリティカルシンキングやメタ認知になるのだと主張したいのです。自分の考えていることを書くのではなく、他者の部品を使う。使う時には、自分がどのように認識しているかを利用しないといけないので、自分がこの部品をどう思っているかというやり方でやる。するとこれはかなり複雑なプロセスになるはずです。

寺尾 なるほど。そこはすごく面白いと思いました。概念マップのような道具がないとき、優秀な学習者ならば、先生はこう言った、教科書にこのように書いてあるということ部品として、自分の頭の中で構造化するのでしょうか。

**平嶋** たぶん、そうですね。

**寺尾** しかしそれはなかなか難しい。キットビルド概念マップでは、先生が教えたい内容がうまく部品化され外化されていて、パズルのピースのように自分が操作しながら考えることができますね。先生が授業で言っていることがわかるとか、教科書に書いてあることがわかるのは相当難しいことのはずです。それをあのようにシステムが外在化して見せてくれていて、操作しやすくなっている。それでもやはり難しいけれども、確実な学習支援になっているのだらうと思いました。

**平嶋** それと、必要な情報の見落としがなくなります。講義の理解の一番難しいところは、見落としとということか、要素が欠けてしまって取り返しのつかないことであるというのは、けっこう指摘されています。キットビルド概念マップで学習すると、必要な部品は全部あるから、組み立てられないものに対してはフィードバックを返すことができます。ですから、質保証はかなりできるのではないかと思っています。

**寺尾** 確かに、教員はこのように考えているということが部品になっているので、学習者が作ってきたものとの差分を取ってフィードバックするというアイデアはすごくわかりやすいです。何が欠けているか明確ですから。

**平嶋** そうなのです。すごく単純な発想なのですけれども。他人のマップを組み立てるとというのは、「そんなことでもいいのか」という反応をされることもあります。しかし、これはけっこう難しいことだと思います。

**寺尾** そうですね。「モンサクン」もそうですが、制約が非常に緩いところととにかく自由に考えることは、エキスパートは好きなものかもしれませんが、それは制約がなさすぎます。

**平嶋** やはり、自由に考える方がいいという意見はよくわかりません。研究者として自由に考えたことはないですからね。いかに制約を外すかを一生懸命考えているから。「制約を外すことを考えることは自由です」と言ったらそうかもしれないけれども、それは制約をわかっていることが前提なのではないかと思います。制約がわからない人に自由に考えさせても、わけのわからないことになるのだらうと思うので。こうしたことが、「教育」でなく「学習」とする理由のひとつかもしれません。考え

ることは自由だというのは、僕はそう思っていないのです。自分が考える上でそのようにはならないから。どのような制約がこの対象にあるのかを考えてからでないと、ものを考えられない気がしています。

**寺尾** そうですね。AI や認知科学では、われわれは制約の中で考えているという認識は一般的ですね。

キットビルド概念マップを用いた学習は、内容をこのように理解しました、それを外に表現するところになりますという、ワンステップで終わらないだらうと思います。そうではなくて、構成主義的に、試行錯誤しながらしだいにできあがってゆくというプロセスが入りますよね。

**平嶋** 入りますね。部品の組み立てで、作り直しがすごく入るのです。概念マップをうまく作れる人もそうでない人もかなり修正はするのですが、うまく作れない人は修正の効率が悪い。わかっている人は、修正しようとしたところは修正できている。うまく作れない人は、ここがおかしいということはわかっているのだけど、どのように直したらいいのかわからない。そういうことが起きているようです。概念マップの研究者たちも、作るよりも修正するという見直しの方が、価値が高いといった議論をしてくれています。自分でマップを作るというよりも、それを見直す方が高次の思考になると。

**寺尾** 認知科学者で、1年ほど前にお亡くなりになった鈴木宏昭先生が「プロジェクト・サイエンス」という研究領域を提唱されていました。学習ですと、たとえば図のような対象を見たとき、人間がそれを理解して終わりではなくて、自分の考えたことを対象にもう一度投射（プロジェクトン）する。投射してやると対象の見え方が変わるから、今度はその変わった見え方で次を考えると、インタラクションのプロセスがあるのだとお話しされていました。平嶋先生のキットビルド概念マップを使った学習で起こっているのは、そうやって理解を何回も外に投射しながら修正していくプロセスなのだらうと思っています。

**平嶋** 鈴木先生にはすごく興味を持っていただいて、いろいろなコメントをもらったりしていました。ガリペリンについては「何で今さらガリペリンなの」と。鈴木先生はガリペリンをずっとやっていて、「昔やってたんだよね」と言っていました。

**寺尾** ガリペリンは、鈴木先生も好きはずです。私も古典的研究は大好きです。平嶋先生の論文を拝読して、学習ツールの古典的な部分はとてもわかりやすく、システムとしてシンプルですごくうまくできていると思いました。でも、それを使った学習では、とてもインタラクティブで複雑なことが起きていて、面白いと思いました。

## 教室を学習の共有空間に

**寺尾** 先生は最近の論文（『人工知能』36巻4号掲載）で、思考の外在化の場として仮想空間が使われるようになっていくこともありうる書かれていました。CIECには仮想空間に興味のある会員も少なからずいます。仮想空間の中に学習システムがどのように入っていくのかということも、いま先生はお考えになっているのでしょうか。

**平嶋** そうですね。僕はいま、仮想空間の前に、教室の黒板を共有空間にしないといけないというイメージがあります。教室は、実はあまり共有空間になっていないのです。先生が前で黒板に書いている文字が子どもに共有されていない気がするのです。だから、モンサクンでやっているようにそれを部品化してやると、そこで使われている部品が先生にも生徒にも共有化できるという現象が起きているのだと思っています。もちろん仮想空間でやってもいいのだけど、教室空間で対象を共有するための仕組みを先生たちも研究者もきちんと作れていないのではないか、というイメージを持っているのです。だから、仮想空間の前に、教室空間でどのようにしたらみなと共有できるかという話をやる余地はまだたくさんあると思っています。システム化して、個人で取り組み、フィードバックをかけ、データを取ることはすぐできるはずですが、その前に、外の空間で共有できて、み

なで話し合いができるということを確認してからシステム化したら、もっといろいろなことができると思っています。システム上でうまく行くというだけではなくて、普通の教室の場でも共有できるようなものを作らないといけないのかなという感覚でやっています。仮想空間の中で可視化するといろいろな用途はたくさん広がるのですが、その基盤はオーソドックスでいいのかなと思っています。教室の中で共有できないものが、仮想空間へ持っていったら共有できるということは、もしかしたらないかもしれないと今は考えています。

**寺尾** なるほど。それはよく分かります。

インタビューをお願いしていた1時間にそろそろなります。インタビューを終えたいと思いますが、何か最後におっしゃっておきたいことがありましたら、ぜひどうぞ。

**平嶋** そうですね。私の研究は、情報技術を使っているというより、情報で処理を考えようとしているというタイプの研究ですね。そうした研究の余地はすごくあると思っています。学習の内容や、学習のときに考えないといけないことを情報として表現しようとしたら、見えることがいろいろ出てくる。そのように考えると、教科書の内容を教えるのではなくて、教科書自体をどう変えるかというところに、情報科学でも認知科学でもいいですが、そうしたタイプの研究が本当はもう少しコミットしないといけないのかなと思っています。けっきょく、自分はそういうことをやりたかったのかなと、今にして思っているところですよ。

**寺尾** なるほど。本日はインタビューをありがとうございました。