原著

知のネットワーク・タグモデル

髙松　邦彦[1),2),3),4)*]　伴仲　謙欣[3),5)*]　桐村　豪文[1),6)]　野田　育宏[3),5)]
村上　勝彦[7)]　光成研一郎[3),6)]　中田　康夫[1),8)]

Tag-based knowledge network models

Kunihiko TAKAMATSU [1),2),3),4)*], Kenya BANNAKA [3),5)*],
Takafumi KIRIMURA [1),6)], Ikuhiro NODA[3),5)], Katsuhiko MURAKAMI[7)],
Kenichiro MITSUNARI[3),6)], and Yasuo NAKATA[1),8)]

要　　旨

知の創造プロセスに関する先行研究では、これまでいくつかのモデルが提唱されてきた。先に我々は、知の創造理論について、数学の一分野であるノード（点）とエッジ（線）で結ばれた「グラフ」を用いたグラフ理論や、ライフサイエンスの分野である「タンパク質相互作用ネットワーク（PPI：Protein-Protein Interaction)」などを援用して、知の創造プロセスについて「増殖段階」「混在段階」「創造段階」の3段階からなる【知のネットワーク成長モデル】を提唱した。本稿では、従来モデルにさらにタグという概念を援用し、新たに【知のタグネットワーク・タグモデル】を提唱する。

キーワード：知のネットワーク・タグモデル、知の創造プロセス、タグ

SUMMARY

Research on the knowledge-creation process has yielded several models of knowledge-creation. By applying the notion of “tags” to existing knowledge-creation models, and inspired by protein-protein interaction networks and graph theory, we propose a novel knowledge-creation model, which we term “tag-based knowledge networks.”

Key words : novel knowledge creation model, process of knowledge creation, tag-based

1）教育イノベーション機構　2）保健科学部医療検査学科　3）KTU 大学研究開発センター　4）ライフサイエンス研究センター
5）事務局研究協力課　6）教育学部こども教育学科　7）東京工科大学応用生物学部　8）保健科学部看護学科
(*These authors contributed equally to this work.)

背景

「connecting the dots」

―スティーブ・ジョブズ[1)]

この言葉は、アップルの創業者である彼が、今では伝説のスピーチといわれるスタンフォード大学の卒業式の中で語られた言葉である。彼はスピーチの中で「知」を点にたとえ、「点と点を繋ぐ」ことの重要性を述べた。

知と知の繋がりの重要性については、大田口[2)]が知の体系性や社会性の観点から次のように論述している。「知識が別の知識と“繋がり”、専門と呼ばれる機能を発現できる知識集合体に組み込まれたときに学問としての知識が誕生する」。そして、「現場で体得した知識を自分の中に留めておいたのでは、自己体系知識である」が、「他の知識体系と自己の知識との間に“繋がり”を見出したとき、その知識には人類が知識の世界で追求している“普遍性”という極めて大きな価値が与えられる」と。

我々は、これまで、知と知の繋がりについて、数学の一分野であるグラフ理論や、ライフサイエンスの分野である「タンパク質相互作用ネットワーク(PPI：Protein-Protein Interaction)」などを援用して、知がネットワークを構築する動態を描いた【知のネットワーク成長モデル】[3)]を提示した。具体的には、知（点）と知（点）が繋がっていく知の創造プロセスを、「増殖段階」「混在段階」「創造段階」の3段階で描き出したのであった。

以上のモデル構築のうえに、次に、このモデルを学校教育に応用することを試みた。【知のネットワーク成長モデル】を用いて知の創造プロセスを描くならば、「知を結ぶエッジ（線あるいは枝）の数は多いほうが良い」という結論がおのずと導かれる。その結論にしたがい教育方法を見つめ直すと、エッジの数の増大を促進する教育方法を検討することが有益であることが推察されるのである。

ここで興味深い「知の創造」のとらえ方として、村田[4)]が提唱する「タグ」という考え方がある。村田によると、「情報が外界から入ってくると、頭の中ではたくさんのタグが反応する。この情報に関連すると思ったタグが勝手に引き出されてくるわけである。このタグのリンクからソリューションが生まれてくるのが『人間の頭でモノを考える』ということである。もしこのダグが少ないと、外から情報が来てもあまり反応できない。タグが多く、『関連する』と思う軸が多いほど反応の数が増え、新しい思いつきと過去の記憶とが結びついてソリューションが生まれやすくなる」という。

今回我々は、タグのリンクからソリューションが生まれてくるという村田の考えにヒントを得て、知と知を繋ぐエッジ（線）の数の増大を促進させる要因をタグに求め、我々が従来提唱してきた【知のネットワーク成長モデル】を発展させ、【知のネットワーク・タグモデル】を新たに提唱する。この【知のネットワーク・タグモデル】を意識的に活用することで、より効率的・効果的にエッジの数を増大させ、知の創造プロセスをより円滑にさせることが期待できるのである。知の創造については、いくつかの先行研究において複数のモデルがすでに提唱されている。例えば、市川によって提唱された等価変換理論[5)]、ポラニーによって提唱された暗黙的予見理論[6)]、野中らによる知識マネジメント理論[7)8)]などが挙げられ、直近では諏訪らによる知のデザイン[9)]が提示されている。しかし本稿のように、知の創造理論について、グラフ理論や「タンパク質相互作用ネットワーク」、さらにはタグという概念を援用して、「知」が変容する動態を描いたモデルは、管見の限り存在しない。

知のネットワーク・タグモデル

我々が従来提唱してきた【知のネットワーク成長モデル】では、知の創造は「増殖段階」「混在段階」「創造段階」の3段階のプロセスを経る。そして、「増殖段階」の説明において、「知（のネットワーク）はそもそも社会的なものであり、個人が完全に自由に操作し得るものではない」と主張した。これは、知は社会性を帯びた情報であり、人間が広く認識・

共有してこそ知として存立しうることを意味している。この考え方を拡張させれば、知は必ず互いに「近い／遠い」の関係をもちながら集合体を形成し、曖昧ながらも一定の境界線を引くことができる。ただし見方を変えれば（もっとさらにズームアウトして全体を俯瞰したりすると）別の引き方ができるように、境界線は決して一意的なものではない。いずれにせよ知というものは、それが属す領域やコミュニティといったものを付随しているのである。あらゆる知は、それ自身がネットワークの中のどこに位置しているかを示す属性を含んで存在しており、その関係性は、原子核とその周りを飛び回る電子のごときものである。

ここで、我々はその属性を「タグ」と呼ぶ。これを踏まえて知の創造の動態を表現すると、「同一のタグが付随している知同士が結合することでネットワークが拡張される」と言い換えることができる。これを、【知のネットワーク・タグモデル】と命名する。

【知のネットワーク・タグモデル】においては、知に付随するタグの存在を重視する。あらゆる知には複数のタグが付随する。これは、わざわざモデルで説明せずとも自明のことだろう。例えば、液晶テレビは、“液晶機器”“家電”“モニター”“娯楽”・・・といったタグが付随しており、スマートフォンには“通信端末”“インターネット閲覧端末”“液晶機器”“娯楽”・・・といったタグが考えられる。この液晶テレビとスマートフォンを俯瞰したとき、“液晶機器”と“娯楽”という同じタグにもとづきグループ化が可能となるが、この状態を「タグを介したネットワーク化」といい、ここに知が繋がる動態を見ることができるのである。このとき、液晶テレビとスマートフォンは本来まったく異なる存在物にもかかわらず、社会的認識のうえでは“近い”位相に置かれ、連想が容易な状態となる。

このように、あらゆる知は、無数のタグを介して、さながら原子が結合して分子になっていくようにネットワークを新たに形成していくことができる。

では次に、より具体的に新たなエッジが結合される（知が繋がる）動態について考えてみたい。すでに知が配置されるネットワークにおいて、そこで新たに知が繋がる動態としては、次の2つのパターンが考えられる。1つ目は、既にネットワークに配置されている知（以下、既存知）に新たなタグが“発見”され、そのタグが別の既存知のタグと同一であった場合、そして2つ目は、それまでネットワークのどこにも存在しなかった新たな知（以下、外来知）を獲得することで、その新たな知に、既存知と同一のタグが偶然付随していた場合である。これについてはいずれも、現在多くの家庭で使用されている食品包装用のラップフィルムを例に、以下のように説明することができる。

元々、火薬を包装して湿気から守るなど、軍事用途で開発されたといわれるラップフィルム[10]は、当初の目的が転じて、いまでは広く食材包装用として使われている。これは、ラップフィルムという化学製品に元々付随していた［包装］というタグに、［食品］というタグが新たに付加された結果、肉や野菜といった「食材を包装する」という、当初は予期しえなかった用途が発見（知が繋がる＝知のネットワークが拡張）されたとみなすことができる。その結果として、今日に繋がる新しい製品が誕生したのである。この場合における［食品］というタグは、“ラップフィルム”と“食材”を繋ぐミッシングリンクである（図1）。

一方、食品用ラップフィルムという製品を初めて手にした消費者は、当初（購入段階）から食品用ラップフィルムには［食品］、［包装］というタグが付随していることを認識しており、そのうちの［食品］というタグを肉や野菜といった食材に付随する同じ［食品］という既存のタグとリンクさせて認識することによって、知のネットワークを構築させ、有意味で現実らしい現実の世界（シュールレアリスムではない世界）を生きているのである（図2）。

このように、人々が日常行っている思考や認識は、既存知や外来知の中に存在する“タグ”を介して縦横無尽に知のネットワークを広げ、創造する過程であると考えることができる。この点において、以前

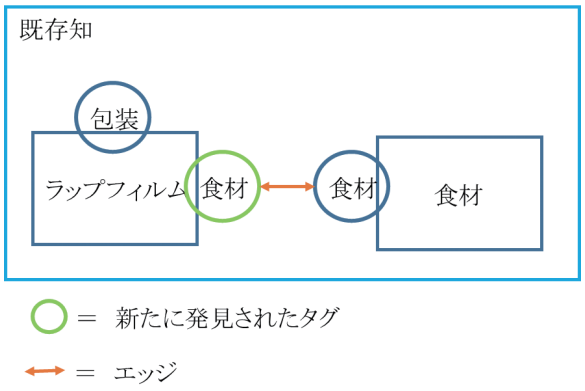


図1　新たなエッジが結合される（知が繋がる）場合①
外来知を獲得することがなくとも、既存知の中に新たなタグが“発見”され、そのタグが別の既存知のタグと同一であった場合

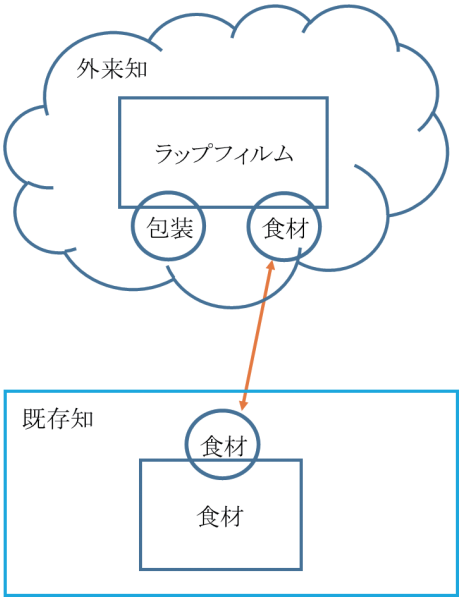


図2　新たなエッジが結合される（知が繋がる）場合②
2つ目は、獲得された新たな知に、既存知の中にあるものと同一のタグが付随していた場合

に提唱した【知のネットワーク成長モデル】は、既存知の中に新たなタグを見出すダイナミズム、つまりは、知のネットワークの成り立ちを描いたものであった。既存知に新たなタグが付加（発見）されることによる知のネットワークの増大（＝創造）は、「混在段階」から「創造段階」において実現されるのである。

以上の考えを図式化したものが、図3および図4である。図3は、知のネットワーク・タグモデルの例（鳥瞰図）である。各色で示されたものが、タグである。丸が１つの知を表している。同じタグがある知が線で結ばれていることがわかる。この、タグを１つの次元（階層）として表したものが図４となる。図４では、５つのタグが存在するため、５次元で表現されている。本論文では、数理モデルを提唱しているのみだが、将来コンピュータ解析を行う場合は、図３を図４のように解釈したほうがプログラムを作成しやすい利点がある。

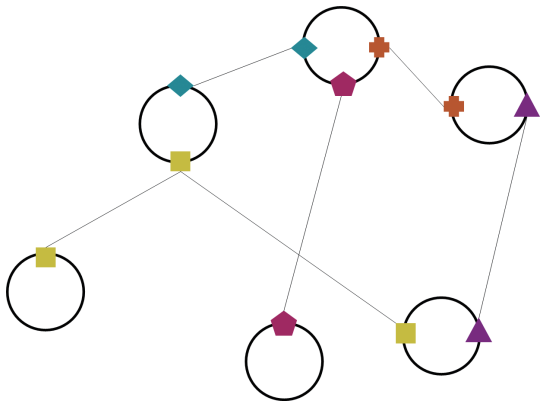


図3　知のネットワーク・タグモデル（鳥瞰図）
丸が１つの知を表し、各色で表したものがタグを表している。同一のタグ同士により、知が結びついていることがわかる。

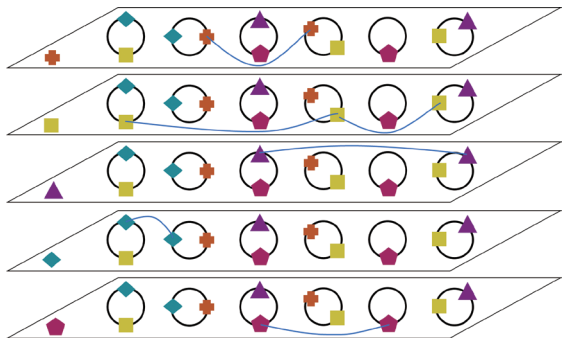


図4　知のネットワーク・タグモデル（層化図）
図３をタグにより次元化（階層化）した図。

知のネットワーク・タグモデルの形式化

次に、この【知のネットワーク・タグモデル】を形式化すること、すなわち数理モデルとして表すことを目指す。その理由は、「本質をうまく抽出したモデル化は、現象を単純化し扱いやすくする。情報が不足している場面では、適切なモデル化によって、欠落した情報を推測することもできる。未知の事柄に対しては、まったく新しいモデルを創造し、それと現実をつき合わせることによって、対象の新しい理解が得られる可能性もある」[11] からである。つまり、知の創造について数理モデル化することで、教育課題の解決という応用課題に対してより実証的に接近することができると考えたからである。

ネットワークにある○印は頂点または点、もしくはノードと呼ばれ、一方、線分は線または枝、もしくはエッジと呼ばれる。1つのネットワーク（グラフ）は、いくつかの頂点（ノード）の集まりと、いくつかの線（エッジ）の集まり（集合）から構成されている。

いま、知の個数、すなわちノードの数を n 個とする。このとき、知識の集合を

$$V = \{v_1, v_1, \cdots, v_n\}$$

とする。また、知の繋がり（エッジ）の数を e 個とする。この場合、e の最大値は、

$$\mathrm{Max}\, e = \left(\frac{n \times n}{2} - n\right)$$

となる。エッジの集合 E を、表現する方法は2種類ある。1つは、

$$E = \{(v_i, v_j)\}\ (1 \le i, j \le n)$$

のように直接表現する場合である。もう1つは、次に述べる隣接行列 A を使って表現する場合である。隣接行列 A は、$n \times n$ 行列であり、$v_i\ (1 \le i \le n)$ と $v_j\ (1 \le j \le n)$ が隣接していれば、A の i 行 j 列要素を、

$$A_{ij}=1、$$

隣接していなければ、

$$A_{ij} = 0$$

として定義する。

さて、上記のような知 n 個に対して、タグが m 個あったとしよう。このとき、$n \times m$ の知とタグの行列を

$$L = L_{ij}\ (1 \le i \le n, 1 \le j \le m)$$

とする。該当するタグがあれば、

$$L_{ij} = 1$$

該当するタグがなければ、

$$L_{ij} = 0$$

とする。いま、j を固定して、$L_{ij}\ (1 \le i \le n)$ をみたとき、

$$x_j = \sum_{i=1}^{n} L_{ij}$$

とする。x_j は、j 番目のタグが付与されている知の個数を表している。さらに、j を固定して、$L_{ij}\ (1 \le i \le n)$ をみたとき、L_{ij}=1となっている集合を

$$U_j = \{L_{ij} \mid L_{ij} = 1, \quad (1 \le i \le n)\}$$

とする。このとき、タグ j が付与されている知の集合 U_j の個数、すなわちタグ j が付与されている知の個数は、

$$\#U_j = x_j$$

となっていることが確認できる。ここで、U_j の隣接行列を A_j とする。すると、タグ j が付与されている知の集合 U_j のエッジ数 y_j は、この A_j=a_k を用いて

$$y_j = \sum_{k=1}^{x_j} a_k$$

と表すことができる（表1）。

考察

ここまで述べてきた【知のネットワーク・タグモデル】は従来の【知のネットワーク成長モデル】[3)]と比べ、その適用範囲はより広く、より汎用性が高いモデルであると考える。そのことを示すために、ここでは、教育の例を引いて考察する。

教育の現場では、詰め込み型教育からの脱却・転換が求められて久しい。【知のネットワーク・タグモデル】で考えると、その転換はもっとものように思われる。

例えば高等学校の進学率は戦後上昇を続け、昭和49（1974）年度に90% を超えた。大衆化した教育の状況にあっては、そもそも知のネットワークに十分に多様なタグが用意されておらず、そのためそれまでの教育では自明とされていたような知識の説明（タグの貼り付け）をする手続きを要する生徒が現れるだろう。そうなれば、もはや教師から生徒への一方的な知識の伝達は、知のネットワークの拡張にとって有効な手段とはならなくなる。中央教育審議会答申「新しい時代に対応する教育の諸制度の改革について」（平成３年４月）において、「大衆化した高等学校には、能力・適性、進路、興味・関心等の極めて多様な生徒が入学している。したがって、その教育の水準や内容については一律に固定的に考えるべきものではなく、生徒の実態に対応し、できる限り幅広く柔軟な教育を実施することが必要となってきている」と述べられているのはその証左であろう。なおこの転換は、教育の大衆化という環境の変化に押される形で進められたものだが、平成10（1998）年の学習指導要領改訂によって導入されたいわゆる

表1　形式化（数理モデル）で定義された変数

変数	定義
知識の数（ノード数）	n
知識の集合	$V = \{v_1, v_1, \cdots, v_n\}$
知識の繋がり（エッジ）数	e
知識の繋がりの集合	$E = \{(v_i, v_j)\}\ (1 \le i, j \le n)$
知識の隣接行列	A
タグの個数	m
知識とタグの行列$(n \times m)$	$L = L_{ij}\ (1 \le i \le n, 1 \le j \le m)$
j番目のタグがつている知識の個数	$x_j = \sum_{i=1}^{n} L_{ij}$
j番目のタグがついている知識集合	U_j
j番目のタグがついている知識集合の隣接行列	$A_j = a_k$
j番目のタグがついている知識集合のエッジ数	$y_j = \sum_{k=1}^{x_j} a_k$

「ゆとり教育」では、さらにこの転換の要求が増したのである。つまり、詰め込み型から課題解決型へ転換が求められるのである。しかしながらそこでは、当初期待されたパフォーマンスを発揮できずに収束した。それは、この転換が決して容易ではないからであろう。「知と知の繋がり」から「知の創造」を促すような教育を行うとするならば、そこで果たされる教師の役割は、それまでの詰め込み型のそれとはまったく異なるからである。また知が属す領域についても、「受験勉強」や既存の教科の枠に固執するタグから離れて、課題解決にふさわしい別のタグを付加する発想や実践に、なかなか辿り着くことができなかったのかもしれない。

今回我々が提唱する【知のネットワーク・タグモデル】では、ある課題に対して知が有効に働き、活用可能性が高められるためには、タグを介して知のネットワークが拡張し、またより有効な知が新たに配置されることが重要であると主張する。詰め込み型では、知をネットワークにただ配置していくことが求められたが（おそらく配置後のネットワークの拡張の過程はわざわざ促さずとも自ずとできるものと期待されていたし、実際それが果たされていたためであろう）、現在においては、知と知の繋がりに注意して、知のネットワークがより拡張し、頑強なものに成長するよう、それに適切な教育が行われることが期待されるのである。

平成19（2007）年の学校教育法改正[12]では、「学力の3要素」が明文化され、その中の1つに「知識・技能を活用して課題を解決するために必要な思考力・判断力」[13]が盛り込まれた。また、平成26（2014）年の中央教育審議会答申「新しい時代にふさわしい高大接続の実現に向けた高等学校教育、大学教育、大学入学者選抜の一体的改革について」においては、「知識・技能」のみならず、「知識・技能を活用して、自ら課題を発見し、その解決に向けて探究し、成果等を表現するために必要な思考力・判断力・表現力等の能力」や主体性をもって多様な人々と協働する態度などの真の学力の育成・評価に取り組むことが求められている[14]。これらは、知識は単体で保有していても意味を成さず、思考として活用しなければならないということを示している。したがって、知識の繋がりを可視化する知のネットワークの概念化とモデル化は、日本の教育上の積年の課題であるところの、学修者の思考を促し発展させるための1つのツールとして有益となるのではないかと考える。知のネットワークをモデルとして教育に落とし込み、学修者がそれぞれもっているはずの知のネットワークの姿を可視的に示し、いかにして知が頭の中で繋がっていき、成長していくのかを技術的に提示することができれば、より大きな教育効果が期待できるであろう。このことは、これまでブラックボックスであった学修者1人ひとりの学びの過程を、よりわかりやすく可視化することができるのである。このコペルニクス的転回を受けて、教育方法のみならず、教育評価もまた、転換を要されることが予想されるのである。

従来、いかに多くの知識を知っているか（たとえそれが断片的、非連続的であったとしても）、あるいは、いかに素早く（方程式を駆使するように）問題が解けるか、といった能力が重視されてきた。そして、その評価についてもそれらに準じた方法がとられてきたこともまた然りである。しかしながら、【知のネットワーク・タグモデル】を援用した教育方法においては、学びの過程が重視されるであろう。それはつまり、知が繋がっていく動的過程に力点を置いた教授法であり、結果としてのアウトプットのみを取り上げて優劣をつけるものではない。それゆえ、そこにカップリングされるべき新たな評価法では、知が繋がっていく動的過程を評価することが求められる。一連の教育プログラムが互いに整合性をもってデザインされ、学修者1人ひとりの学びの過程を可視化することにより、結果として知の繋がりもまた可視化することが可能となる。この点において、【知のネットワーク・タグモデル】が果たしうる教育への最大の貢献は、教育評価改革に帰着するといえる。

前述のとおり、知のネットワークの増強は思考力

の強化に寄与するが、思考力の強化は翻って知のネットワークの増強、つまり知に対するタグの付与に貢献するという相互補完関係をもたらす。世の中に知は無数に存在し、そこに付随するタグもまた知であるがゆえに無数であることは自明である。知（識）を増やすことで、そのネットワークを増強させる試みは重要であるが、それ以上に、今後の教育においては、タグを増やすことの重要性に注目すべきではないだろうか。外来知のタグを吸収するだけではなく、既存知に関する属性（タグ）を増やしていくことは、知のネットワークを増強させる。

思考力の強化と知のネットワークの増強が相互補完関係にあるならば、学習／学修者が自ら主体的に学び、より積極的に思考を張り巡らせる“アクティブラーニング”や“project based learning”に代表される課題解決型（学習／学修者主体型）教育は、【知のネットワーク・タグモデル】に照らすと、タグを増加させるという仮説が成り立つ。課題解決型学習／学修への【知のネットワーク・タグモデル】の援用は、知の繋がりの重要性を教授することで、より具体的な学習／学修イメージを提示することを可能とし、学習／学修者の主体性の助長が期待できる。また、学習／学修過程の可視化や学習／学修に対する事前準備段階においても教育効果をもたらすことができるのではないだろうか。

原則として、人は0から1を創造することはできない。歴史的な大発見ですら、そこに至る過程には、必ず元となるモチーフや類推、連想、組み合わせなどが存在するはずである。同様に、世に数ある優れたアイデアの創出も、過去の無数の知や発想を練り直し、組み合わせた結果であろう。そして、それらを担保するものが知の繋がりといえるのではないだろうか。そしてこのことは、課題を解決するための思考過程において最も大切なものとは何か、という問いへの回答でもある。

しかしながら、創造を産み出す知の繋がりは、いつでも容易に訪れるものではない。先に、新たなエッジが結合される場合には、2通りが考えられる、とした。そのうちの、「既存知の中に新たなタグが“発見”される可能性を高めるもの」としては、現時点では少なくとも2つの処方箋があると考えられる。

その1つが“経験”である。ジョブズは、「創造とは、まさに物事を繋げることである。創造的な人たちにあることを成し得た理由を尋ねたとき、彼らにはかすかな罪悪感が生じるであろう。その理由は、本当にそのことを成し得たのは彼ら自身ではなく、彼らはそれらを単に繋ぎ合わせただけだからである。彼らは、自らのさまざまな経験を繋ぎ合わせることで、新しいことを創り出すのである。そして、彼らがそのようなことができる理由は、他者よりもより多くの経験をしていたり、他者よりも経験についてより深く考えているからである」[15] としているように、創造における経験の重要性を述べている。

さらにもう1つとして、【知のネットワーク成長モデル】を提唱した際にも述べた、「（お伽話「セレンディプ（セイロン）の三人の王子」の主人公が持っていたところから）思わぬものを偶然に発見する能力。幸運を招きよせる力」と広辞苑第6版に記されている、ある種の運を孕んだトリガーであるセレンディピティ（serendipity）[16][17] である。セレンディピティは、たゆまぬ好奇心や主体的態度、さらには、いわゆる「アンテナの高い状態（情報をいち早くキャッチし漏らさないようにする態度）」を維持することなどにより訪れる。このセレンディピティを可能な限り意図的にコントロールするほどに、新たなタグを“発見”できる可能性が高まると考えられる。以上のことから、教育現場においては、あるいは学習／学修に際しては、経験の量と質をいかに確保できるか、そしてセレンディピティの機会を増やすような環境の統制ができるかどうかが極めて重要であると考える。

以上により、我々の提唱した【知のネットワーク・タグモデル】が、高等教育のみならず、初等・中等教育にも適用できる可能性があることを示した。すなわち、このモデルを実際の教育方法に援用することで、現在の日本の教育上の課題解決の一助となることが示唆されるのである。

今後の課題

本稿では、【知のネットワーク・タグモデル】を構築・提唱した。しかしながら、本モデルに対して量的データを用いた実証は成し得ておらず、ここに本稿の限界と課題が残されている。

本モデルは、端的にいえば、知の個数、知の繋がりの個数、知に付与されたタグの数を定式化したものである。そして、我々が提唱してきた【知のネットワーク成長モデル】においては、知の個数よりも、知の繋がりの個数が重要であることを述べた。

従来の高等教育においては、知の個数の増加が重要視され、知に付与されたタグ数の増加にはほとんど着目されていない。我々のモデルは、知の繋がりの個数を増加させるには、知の個数だけではなく、知に付与されるタグ数の増加も重要である可能性を示している。

我々が提唱した【知のネットワーク・タグモデル】を用いれば、知の個数、知に付与されたタグ数、知の繋がりの個数を初期条件として与え、知の個数の増加、もしくは、知に付与されたタグ数を増加させることにより、知の繋がりの個数を *in sirico* で計算することが可能となる。初期条件を変化させることで、知の繋がりの個数が、知の個数の増加もしくは知に付与されたタグ数、どちらの影響がより大きいかを調べることが可能となる。知の個数の増加よりも、知に付与されたタグ数の増加のほうが、知の繋がりの個数の増加に影響を強く与えることを定量的に示すことができれば、従来の知の個数の増加を目指した教育に加え、知に付与されたタグ数を増やす教育にも力を入れることで、より良い高等教育を行うことが可能となる。つまり、知の創造について数理モデル化することで、教育課題の解決という応用課題に対して、より実証的に接近することができるのである。さらに、*in sirico* で定量的データによる実証をはじめ、より多くの検証を行うことで、本モデルの妥当性と信頼性の向上、あるいは改良に繋げたいと考えている。

謝辞

本稿の SUMMARY の英文を添削してくださいました R. J. Lim さんに感謝いたします。

文献

1) University, Stanford. "Steve Jobs' Commencement Address". Stanford News. 2005, http://news.stanford.edu/2005/06/14/jobs-061505/, (参照 2016-09-10).
2) 太田口和久 . 創造の泉：“つながり”を強化しよう . 技術革新と社会変革 . 2010, 3, 1, i–ii.
3) 桐村豪文 , 髙松邦彦 , 伴仲謙欣 , 野田育宏 , 大森雅人 , 足立了平 , 光成研一郎 , 中田康夫 . 知のネットワーク成長モデル . 神戸常盤大学紀要 . 2016, 9, 79–86.
4) 村田智明 . 問題解決に効く「行為のデザイン」思考法 . CCC メディアハウス , 2015, p. 75.
5) 市川亀久弥 . 創造工学 . ラテイス , 1977, p. 487.
6) ポラニーM. 暗黙知の次元 . 紀伊国屋 , 1980, p. 146.
7) 野中郁次郎 , 竹内弘高 , 梅本勝博 . 知識創造企業 . 東洋経済新報社 , 1996, p.401.
8) Ikujiro Nonaka, Hirotaka Takeuchi. The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation. Oxford University Press, 1995.
9) 諏訪正樹，藤井晴行 . 知のデザイン―自分ごととして考えよう . 近代科学社 , 2015, 276p.
10) 旭化成 . " サランラップ ®". http://www.asahi-kasei.co.jp/saran/products/saranwrap/history.html#history1, (参照 2016-09-10).
11) 杉原正顯，杉原厚吉 . 数理工学最新ツアーガイド―応用から生まれつつある新しい数学 . 日本評論社 , 2008, p. 163.
12) 総務省 . " 学校教育法 ". http://law.e-gov.

go.jp/htmldata/S22/S22HO026.html, (参照 2016-09-10).

13) 文部科学省 . " 現行学習指導要領・生きる力 ". http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/gengo/1300857.htm, (参照 2016-09-10).

14) 中央教育審議会 . " 新しい時代にふさわしい高大 接続の実現に向けた 高等学校教育、大学教育、大学入学者選抜の一体的改革について（答申）". 2014, http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1354191.htm, (参照 2016-09-10).

15) Jobs, Steve. "The Next Insanely Great Thing". The Wired Interview. https://www.wired.com/1996/02/jobs-2/, (参照 2016-09-10).

16) ロバーツロイストン・M., Royston M. Roberts (原著), 安藤　喬志 (翻訳). Serendipity: Accidental discovers in science セレンディピティー―思いがけない発見・発明のドラマ . John Wiley & Sons New York, 1993, p. 356.

17) 澤泉重一，片井修 . セレンディピティの探求―その活用と重層性思考 . 角川学芸出版 , 2007, p. 249.