

原著

知のネットワーク成長モデル

桐村 豪文^{1), 2) *} 高松 邦彦^{1), 3), 4), 5) *} 伴仲 謙欣^{4), 6)} 野田 育宏^{4), 6)}
 大森 雅人²⁾ 足立 了平^{4), 7)} 光成研一郎^{2), 4)} 中田 康夫^{1), 8)}

Three-step knowledge network model

Takafumi KIRIMURA^{1), 2) *}, Kunihiro TAKAMATSU^{1), 3), 4), 5) *}, Kenya BANNAKA^{4), 6)},
 Ikuhiro NODA^{4), 6)}, Masato OMORI²⁾, Ryohei ADACHI^{4), 7)},
 Kenichiro MITSUNARI^{2), 4)}, 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。本稿で我々は、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】を新たに提唱する。本モデルが従来のモデルと異なる点は、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、知の創造プロセスを提唱している点にある。さらに「混在段階」と「創造段階」の溝（ギャップ）を越え、混在させた知に新しい価値を付加するためのセレンディピティの必要性についても言及している点にある。

キーワード：知のネットワーク成長モデル、知の創造プロセス、セレンディピティ

SUMMARY

In this paper we describe a novel knowledge creation model, the “three-step knowledge network model,” which comprises the propagation step, the mixing step, and the creation step. This model uses knowledge networks first proposed by Willard Van Orman Quine's, and graph theory to describe the knowledge creation process. We use higher education as a example of knowledge creation that this model can describe, and in the future hope to apply this model to other phenomena.

Key words : novel knowledge creation model, process of knowledge creation, serendipity

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

背景

「創造とは、それなしに生きられない麻葉である」
 —セシル・B・デミル¹⁾

人は、創造するとき喜びを感じる。アリストテレスは「形而上学、980a」において、「すべての人間は、生まれつき、知ることを欲する」といい²⁾、知を人間固有の営みとみる。この考えに則るならば、知を欲することや、知を愛すること（「哲学」の原義）は、人の原的な喜びであるといえる。そうなれば、知を“創造する”という営みは、その原的な喜びのうにさらに喜びを与えるものといえよう。

また、知は喜びの源泉であると同時に、現代消費社会においては“資源”としての資格も有する。ドラッカー（Peter Ferdinand Drucker）は、「知識という資源が21世紀において最も重要な資源となる」と提唱している³⁾⁴⁾。以上のことから、知の創造は今後ますますその重要性が高まると考えられる。

本稿を進めるにあたって、そもそも「知」をどのように考えるべきか改めて検討する。従来「知」の姿は、科学を例に挙げると、「観察事実によって検証ないしは反証され、取捨選択を経ることによって試行錯誤を繰り返しながら最終的には『科学的真理』に接近していく」⁵⁾といった構図で語られてきた。つまり、「真」と確定された硬いブロックを1つひとつ積み上げていき、安定的で絶対的な建造物を作り上げる基礎づけ主義の考えがとられていたのである。しかし、ドレツキ（Fred Dretske）が知識を「信念という形で保持されている情報」⁶⁾と定義するように、「知」とは決してそのような安定的で静的なものではなく、動的でいつでも変容し得るものであるといえる。

ここで興味深い「知」の捉え方として、クワイン（Willard van Orman Quine）の提唱する「知識の全体論」という考え方がある。クワインは、1つひとつの命題が単独で検証されたり反証されたりするという考えを批判し、「外的世界についての我々の言明は、個々独立にではなく、1つの集まりとして

のみ、感覚的経験の審判を受けるのだ」⁷⁻⁹⁾という。つまり、我々の知識（信念）の総体を、相互に構造的に関連し合った1つのネットワーク（「知のネットワーク」や「信念体系」「信念ネットワーク」などと呼ばれる）とみるのである。

昨今では、複雑ネットワークの理論の台頭により、この考え方は暗に支持されているように見受けられる。例えば、単語の連想実験を行う結果、全体の96%の単語が1つの大きな集団を成すことが明らかとなっている¹⁰⁾。概念や信念は、他のそれと無関係に存在するのではなく、意味的に関連し合い、ネットワークを構成して存在するのである⁷⁻⁹⁾。

今回我々は、知がネットワークを構成するというクワインの考えに依拠し、知の創造プロセスに関する【知のネットワーク成長モデル】を新たに提唱する。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¹¹⁾によって提唱された等価変換理論、ポラニー¹²⁾によって提唱された暗黙的予見理論、野中ら¹³⁾¹⁴⁾による知識マネジメント理論などが挙げられる。しかし本稿のように、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」がネットワークを構築する動態を描いたモデルは、管見の限り存在しない。

知のネットワーク成長モデル

我々が提唱する【知のネットワーク成長モデル】は、「増殖段階」「混在段階」そして「創造段階」の3段階で描く知の創造プロセスである。以下、各プロセスについて順を追って説明する。

第1段階：増殖段階

第1段階は、知の増殖段階である（図1）。この段階について詳しく述べる前に1つ注意を要するのは、知（のネットワーク）は、個人によって所有さ

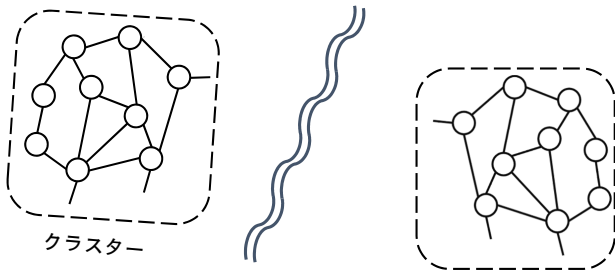


図1 知のネットワークの成長モデル：増殖段階

丸印(ノード)は1つの知を、線(エッジ)は知と知の繋がりを、点線は知のネットワークのクラスのかたまりをそれぞれ表している。増殖段階中の知は、独立したクラスターとして増殖するため、その分断を波線で示す。

れて存在するものではないということである。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。例えば、知のネットワークにかたまり(クラスター)が生まれることは、そこに専門性を有する共同体が発生したことを暗に示すことになる。知のネットワークは、人がそれに立脚することによって社会的営みを行うことができる基盤として存在する。しかしながら人は、知(のネットワーク)を前にして、既にあるそれをただそのまま受け入れるだけの存在ではない。人はそのうえに立脚しながらも、小さな創造の地殻変動を与えることができるのである。我々は、その創造性と能動性の動態を捉える必要がある。

知の増殖段階では、それぞれ固有の課題を解決するため、有用と思われる知を増殖させる。それにより、知のネットワークが張り巡らされる。知は、固有の課題(複数あってよい)を中心に配置される。そのため、増殖の過程で次第にその姿を現す知のネットワークのクラスター(かたまり)は、相対的閉鎖性(図1の点線での囲み)の性質をもつ。

ここで描かれるネットワークは、グラノヴェッター(Mark Granovetter)が描き出した人間関係についてのネットワークの特徴を有している。すなわち、自分の親しい友人らは、彼ら同士もまた友人であり、そこには互いに緊密な結びつきをもって完全にリンクされたクラスターが存在する¹⁵⁾、しかしそのクラスターはまた周囲から孤立せず、弱い絆を介して他のクラスターと繋がりを有している¹⁶⁾¹⁷⁾、そのような特徴である。このクラスターは、ワッツ

(Duncan J. Watts)が示したスモールワールド・ネットワークの姿をしており、散在するクラスター(ともいえる)が相互に緩やかな繋がりをもって全体を構成する姿が描かれるのである¹⁸⁻²⁰⁾。

第1段階の特徴は、各クラスターで専門性の向上が目指されるため、自律性、独立性、閉鎖性が強調されることである。もしネットワークを見る視点をズームアウトし、全体を俯瞰できるならば、各クラスターが相対的に独立する様子をより理解できるであろう。

任意のクラスターにおいて、他のクラスターについては“無関心”の対象である。そのため、他のクラスターは、異質性を観取できたとしても、いかなる相違性/共通性を有しているかについては依然不明瞭であり(図1中の波線がその認識上の壁を表わしている)、またそれで問題ない。この場合、たとえクラスター間に共通性があっても、他のクラスターに注意が向けられない、つまり、その共通点は“認識されない”のである。同一クラスター内に配置された知の集合体を用いた課題解決において、機能不全の状態に陥らない限り、そのクラスターは自己完結性を帯びたまま放置されるため、わざわざ他のクラスターに目を向ける必要はないのである。

第2段階：混在段階

第2段階は、混在段階である(図2)。この段階は、課題の高度化・複雑化などの理由により、単体のクラスターだけでは、課題解決の困難さが顕在化し始める。クラスター内部で機能不全が認識された後に見られる状態である。困難さが顕在化してしばらくの間は、クラスターの周縁部にアドホックな(特定の目的のための)調整を加えることで課題を乗り越えようと試みる。しかし、それでもなお機能不全の状態が続くと、ついにはクラスターの中心部に近い知に変更が要求される状況となる。これは、クーン(Thomas S. Kuhn)が科学の「進歩」の歴史を批判的に描いたパラダイム論で提示される3つの段階—通常科学—危機—科学革命—のうち「危機」の段階に相当する²¹⁾。この第2段階の一連の流れの結果、

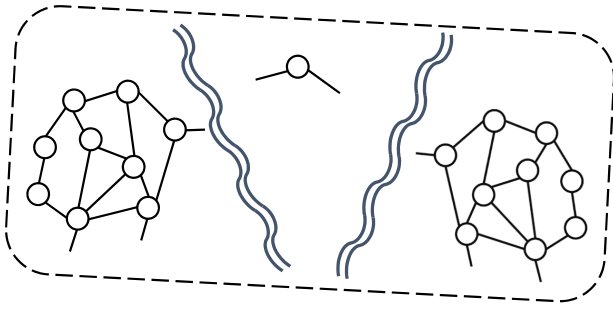


図2 知のネットワークの成長モデル：混在段階

丸印（ノード）は1つの知を、線（エッジ）は知と知の繋がりを、クラスターの分断を波線でそれぞれ示している。混在段階の知は、各クラスターに繋がりがあってもかもしれないことに気がついた段階である。外側の点線は、その新たに気がついたクラスターの結合の可能性を表している。

第2段階は第1段階とは異なり、同一クラスター内のみならず、他の（外の）クラスターにも関心をもつことになる。

第2段階のクラスターは、自らがそれまで依拠してきた専門性の境界線（図1の点線での囲み）に疑問符がつけられ、他のクラスターにも目が向けられる。その結果、知が属するクラスターの範囲が拡張される（図2の点線）。その結果、拡張されたクラスター内では、互いに異質な関係にある知がさまざま混在する状態となる。

ただし、注意すべきは、さまざまな知が混在する状態にあってもなお、その「異質」の内実—他にいかなる異なる知があり、それがどれだけ自らの知に近い／遠いのか—については、明確に示されているわけではないということである。つまり、潜在的な混在状態である。これが第2段階の特徴である。したがって、混在する状態にあるとはいえ、即座に知の交流が始まるわけではない。例えば、数学者モンゴメリー（Hugh L. Montgomery）の話に、物理学者ダイソン（Freeman Dyson）は当初「自分の研究分野とはかけ離れている」と感じていたが、その後ゼロ点の間隔の数式を見たとき、自らの研究との重なりを発見したように、異質性の内実は、互いに手探りで働きかける中でしか得られず、知の相互交流は常に暗中模索の過程にある。そのため、波線がすべて隠滅し、知のネットワークの全体像が露わとなり、それを俯瞰できるようになるといったこと

は決してないのである。

その手探りの中で、他のクラスターとの間に共通する知を発見すること（図2で描かれる共通するノードの発見）は、たとえクラスターの中心部（専門性の強い知）から離れた知であっても、非常に重要である。

第3段階：創造段階

第3段階は、創造段階である。第2段階との明白な違いは、第2段階では認識論的变化が起きたに留まるのに対し、第3段階では実際に知のネットワークに変化が与えられることである。第2段階から認識され始めた課題を解決するため、知のネットワークに（大なり小なりの）変革が起こるのである。

変革のありようはさまざまあるが、最大の変革は、クーンのいう「科学革命」のような姿である。つまり、クラスターの中核を構成する知（例えば、「時間」の概念、排中律といった法則）に変更が加えられ、新たな知がそこに配置されることによって、知の配置が劇的に変わるような姿である。しかし、このような変革（革命的変化）の姿は非常にまれであるため、日常の過程でみられる小さな変革とは性質が異なる。

では、第3段階でみられるより小さな変革を描くとすると、その方法は2種類考えられる。

1つは、異なるクラスターに属する知と知の間に、より短い距離でエッジ（関係）が結ばれるよう、新たな知（ノード）を生み出す方法である（図3）。この新たに生み出された知（ノード）により、クラ

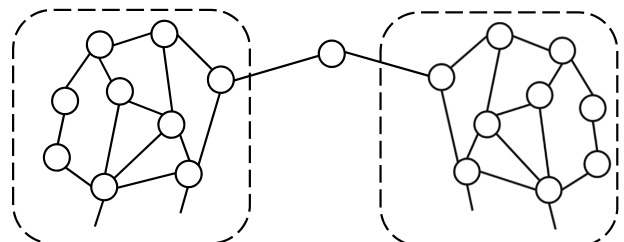


図3 知のネットワークの成長モデル：創造段階（例1）

丸印（ノード）は1つの知を、線（エッジ）は知と知の繋がりをそれぞれ表している。創造段階の知は、各クラスターに繋がりをを見つけ、新たに知を創造する段階である。知のクラスターを点線で示している。知のクラスター同士が、1つのノード（丸印）を媒介として繋がり、新たな知を創造したことを示している。

スター間の各要素の距離が第2段階と比較すると短くなる。第2段階で発見される共通のノードよりも、互いのクラスターの中心部により近い位置でエッジが結ばれ、より専門性の高い知が創造されることとなる。

もう1つは、先に新たな知（ノード）を配置し、その周りに既存の知を再配置する方法である。クラスターはもともとある課題（これも一種の知である。また課題は複数あってよい）を中心に配置される知の集まりである。専門性の境界は、この課題への関心によっても形作られる。第3段階のこの方法では、既存の課題とは別の課題を新たに配置することによって、すでにある知のネットワークのうえに、新たなネットワークを書き入れるのである。そこでは専門性の境界はほとんど意味がなくなる（図4）。ただし、既存のクラスターが解体されたわけではなく、それはなおも存続し、その領域の専門家は引き続き専門家であり続けることができる。あくまでも、新規の課題を課題とする限りにおいて、それまでの専門性は意味をもたなくなるのである。

以上、知のネットワークの形成過程を3段階で示してきたが、このモデルにおける第1段階（増殖段階）と第2段階（混在段階）への移行と、第2段階（混在段階）から第3段階（創造段階）への移行には相違がある。増殖段階から混在段階へは「課題解決」をエンジンとして比較的スムーズな移行がなさ

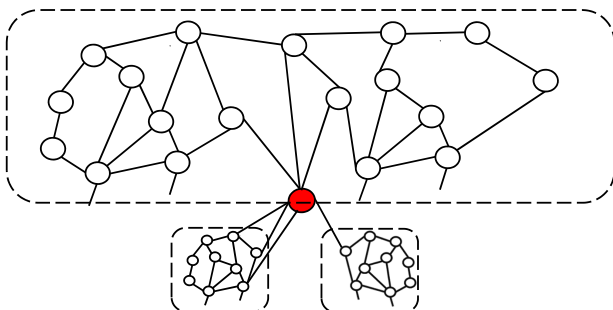


図4 知のネットワークの成長モデル：創造段階（例2）

丸印（ノード）は1つの知を、線（エッジ）は知と知の繋がりをそれぞれ表している。創造段階の知は、各クラスターに繋がりを見つけ、新たに知を創造する段階である。知のクラスターを点線で示している。新たな知（赤丸）が配置され、その周りに既存の知が再配置されることで、新たな知を創造したことを示している。

れるが、混在段階から創造段階への移行は決してその限りではない。

創造の困難性については、「産みの苦しみ」という言葉に代表されるように、古今東西共通の認識といえる。この混在段階と創造段階の溝（ギャップ）を越え、創造の高みに到達すること、すなわち互いのクラスターの中心部により近い位置でエッジを結び、混在させた知に新しい価値を付加するためには、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）が必要である。

広辞苑第6版によれば、セレンディピティとは、「（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」と記されている。セレンディピティは、特に科学の発見、つまり知の創造の理由として取り上げられることが多い。酒井は、著書「科学者の仕事」の中で²²⁾、セレンディピティの典型として、2002年に「生体高分子の同定および構造解析のための手法の開発」でノーベル賞化学賞を受賞した田中所長の「偶然の失敗」を挙げている²³⁾。また、パスツールの言葉として、「観察の領域において、偶然は構えのある心にしか恵まれない」（Dans les champs de l'observation le hasard ne favorise que les esprits prepares.）を紹介している。同様のことを、2010年、「有機合成におけるパラジウム触媒クロスカップリング」でノーベル化学賞を受賞した鈴木名誉教授が「研究者には、誰にでもセレンディピティに出会うチャンスはあると思う。しかし、その機会を生かすことができるかどうかは、ひとえに、その研究者の自然を直視する謙虚な心、小さな光をも見逃さない注意力と旺盛な研究意欲が必要であり、さらに加えて、神が与え賜う幸運が大きく関係するのではなからうか。ただし、ここではっきり言えることは手を抜いては決して、やって来ることはない、ということである」と述べている。

つまり、セレンディピティは、【知のネットワークの成長モデル】でいえば、まさに第3段階に相当するものである。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できるかどうか、知の融合度合い、つまり「創造の生産性」を左右するのである。

考 察

これまで述べてきた【知のネットワーク成長モデル】の適用範囲は広く、汎用性があるモデルであると考えられる。そのことを示すために、ここでは、初等中等教育や高等教育の例を挙げながら考察する。

15歳の生徒を対象に行われる国際学力調査「生徒の学習到達度調査（PISA）」は、知識や技能の量ではなく、さまざまな知の総合的な活用力を問うのが大きな特徴である。わが国は、2003年実施のPISAにおいて「数学的リテラシー」と「科学的リテラシー」は1位であったものの「読解力」が14位にとどまり²⁴⁾、当時の教育関係者に強い衝撃を与えた。いわゆる「PISA ショック」である。この「読解力」の順位が低かった理由の1つとして、「自由記述問題の無回答率の高さ」がいわれている。つまり、自らが立脚しているネットワークの範囲内において、それらの知を用いて与えられた知（PISA2000年調査「落書きに関する問題」でいえば、「ソフィアの手紙」で書かれている内容）と交流させる能動性を、多くの生徒がもたないでいたのである。

これは、決して初等・中等教育段階に限られた問題ではなく、高等教育でも同様の課題を抱えている。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²⁵⁾。

この教育的課題における最大のポイントは、知のネットワークにおける個の小さな創造性・能動性で

あると考える。「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」することは、まさに先に示した【知のネットワーク成長モデル】の第3段階において個人が為し得る小さな創造に一致する。すなわち、そこでは新たな課題を配置することによって、その周りに知のネットワークを張り巡らす創造性と能動性が求められるのである。

第1段階：増殖段階

人は、知のネットワークに立脚するために、まず自らの知を増殖させていく。初学者の段階である。一般的に最初に学ぶ段階では、授業（講義）を受ける、または本を読むなどして知識を獲得する場合はほとんどである。そして学校教育などで効率的な学習が求められる場合、個々の知識をバラバラに学ぶのではなく、系統に従って学ぶことが求められる。このとき、すでに用意された系統（知のクラスター）を越えて知識を得ることはなされない。先に述べた、他のクラスターへの“無関心”とは、そういうことである。例えば、数学を学んでいるときに音楽との共通点について関心が向けられることはない。まずは、数学や音楽といった系統に従って学習すること、既存の知のクラスターに従って、ただそれに立脚することが求められるのである。

第2段階：混在段階

混在段階は、何らかの理由または動機によって、知に拡がり求められる段階である。具体的には、系統に縛られない知を探求する段階として捉えると理解しやすい。先の例を続けると、数学と音楽との間に、不明瞭ながらも繋がり可能性を見出そうとする段階がこれである。

このように第2段階は、クラスターの拡張による互いの範囲の重なりや、クラスター間を結合する新たな知を発見しようとする過程をいうものであり、そのプロセスは、その後の「創造段階」の基盤にもなり得るため、重要性を有しているのである。

第3段階：創造段階

創造段階は、具体的には「多種多様な学問領域を学ぶことを通じて、ある特定の領域に縛られない学際的な思考ができるようになった段階」として捉えると理解しやすい。先の例を続けると、数学と音楽の間に実はある繋がりがあり、例えば円周率（ π ）に音楽が隠されていたことに気づくような、学際的な試みである。

このように、第3段階は、既存のクラスターに縛られず、それまで隠れ潜んでいたノードを発見し、新たな知を生み出す、能動性と創造性が充分に発揮される状態である。

原則、科目縦割りの教授法により伝達される教育上の知識は、各科目や1つの講義ごとに蓄積・保存されていく。ここで形成される知のクラスターが融合し、知の創造に至るには、前述のとおりセレンディピティとの出会いが欠かせない。しかし残念ながら、この邂逅に絶対的な処方箋は存在しない。ゆえに、いかにこの“偶然”に巡り会えるかという各人のためゆめ働きかけが必要である。この働きかけにより、偶然は文字通りの偶然ではなく、限りなく必然へ向けて蓋然性を高めていく。

このためにはまず、広く知識を吸収することはもとより、さまざまな物事に興味関心をもつという学修者自身の態度が重要となる。また、他者（友人・師・メンターなど）とのコミュニケーションや、自らの行動力に基づくあらゆる経験は、知識と知識を繋ぐための大きな示唆となる。具体的に教育の現場に翻ると、これまでにない学際的科目や総合教養科目の設置による科目間関連性の誘発、「教育者→学修者」というベクトルに留まらない学生間、生徒間相互のインタラクションを喚起する教育方法やプログラムの導入は、学修者に気づきや関心を促し、セレンディピティを大いに高めてくれるであろう。これにより、教育効果は増大し、学修者が有する知のクラスターは無限に拡張していく可能性を秘めるのである。

以上により、我々の提唱した【知のネットワーク成長モデル】が、初等・中等教育や高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、【知のネットワーク成長モデル】を構築し、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。したがって今後は、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、あるいは改良に繋がりたいと考えている。

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) 晴山陽一. 名言の森 心に響く千人千句. 東京堂出版. 2011.
- 2) アリストテレス (著)、出隆 (訳). アリストテレス全集12 形而上学. 岩波書店, 1988, p. 755
Aristoteles, *Metaphysica*, 980a.
- 3) Drucker, P. F. *Post Capitalist Society*. HarperBusiness/Harper Collins, 1994, p. 240.
- 4) Drucker, P. F. *ポスト資本主義社会—21世紀の組織と人間はどう変わるか*. ダイヤモンド社, 1993, p. 363.
- 5) 野家啓一. *科学の解釈学*. 筑摩書房, 2007, p. 36.
- 6) 戸田山和久. *知識の哲学*. 産業図書, 2002, p. 248.
- 7) Quine, Willard V. O. *On What There Is*.

- Review of *Metaphysics*. 1948, 2(5), p. 21-38.
- 8) Quine, Willard V. O. Two Dogmas of Empiricism. *Philosophical Review*. 1951, 60(1), p. 20-43.
- 9) ウィラード・ヴァン・オーマン・クワイン. 論理的観点から—論理と哲学をめぐる九章 (双書プロブレマタ). 勁草書房, 1992, p. 61.
- 10) Caldarelli, Guido, Catanzaro, Michele, 高口太朗訳, 増田直紀監訳. ネットワーク科学. 丸善出版, 2014, p. 70.
- 11) 市川亀久弥. 創造工学. ラテイス, 1977, p. 487.
- 12) ポラニー M. 暗黙知の次元. 紀伊国屋, 1980, p. 146.
- 13) Ikujiro, Nonaka, Hiroataka, Takeuchi. *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press, 1995, p. 304.
- 14) 野中郁次郎, 竹内弘高, 梅本 勝博. 知識創造企業. 1996, p. 401.
- 15) Granovetter, Mark S. *The Strength of Weak Ties*. 1973, 1360p.
- 16) Albert-laszlo, Barabasi, Jennifer, Frangos. *Linked: The New Science Of Networks Science Of Networks*. Perseus Publising, 2002, p. 305.
- 17) アルバート・ラズロ・バラバシ. 新ネットワーク思考—世界のしくみを読み解く. NHK 出版, 2002, p. 368.
- 18) Watts, D. J., Strogatz, S. H. Collective dynamics of [small-world] networks. *Nature*. 1998, 393(6684), p. 440-442.
- 19) Watts, Duncan J. *Age, Six Degrees: The Science of a Connected*. W. W. Norton & Company, 2003, p. 384.
- 20) ダンカン・ワッツ. *スモールワールド・ネットワーク—世界を知るための新科学的思考法*. 阪急コミュニケーションズ, 2004, p. 389.
- 21) 野家啓一. *パラダイムとは何か クーンの科学史革命*. 講談社, 2008, p. 336.
- 22) 酒井邦嘉. *科学者という仕事*. 中央公論新社, 2006, p. 271.
- 23) 田中耕一. *生涯最高の失敗*. 朝日新聞社, 2003, p. 240.
- 24) 国立教育政策研究所. “OECD 正との学習到達度調査 (PISA)”. <http://www.nier.go.jp/kokusai/pisa/>, (参照2015-09-10)
- 25) 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.