

新進研究者 Research Notes

Floridi による情報の論理の批判的検討

Critical examination of Floridi's "the logic of being informed"

平岡 太郎

Abstract

This paper aims to critique Floridi's "the logic of being informed". Floridi gave some characteristics of what it is like for an agent to be informed of  $p$ , and he gave a formalization of these characteristics, based on a normal modal logic KTB. However, as this paper suggests, his argument ignores the aspect of semantics, so there is room to improve his original logic, showing counterexamples to indicate what makes trouble in his original formalization. In the end, this paper suggests that it is more appropriate for formalization to use Barwise's channel theory.

(1) 研究テーマ

情報の論理(IL)とはいかなるものか。情報と論理の関係を考察する研究においては、情報が伝達され、それがエージェントの知識や信念に対してどのような変更をせまるのか、という点から考察されることが多い([van Benthem & Martinez 2008], [Mares 2024]を参照)。近年では、情報の哲学(PI)を牽引する Floridi が、情報  $\phi$  とエージェント  $a$  の間には、以下の三つの関係性(1)  $\phi$  の  $a$  に対する有用性、(2)  $\phi$  が  $a$  に対して伝わるプロセス、(3) エージェント  $a$  が  $\phi$  を保持する状況があると指摘する。そして(3)に着目する形で、情報  $\phi$  がエージェント  $a$  によって保持されている(**being informed**)とはいかなることか、という点を中心に扱う情報の論理(IL)を提唱している [Floridi, 2011]。

本稿では、主に Floridi によって提唱された IL に対し、はじめにその道具立ての基本である正規様相論理、および Floridi による意味論的情報の二点を導入する。その後、Floridi が提唱する IL について、知識や信念の保持について形式化を行う認識論理(EL)、信念論理(DL)と比較する形で、情報を保持するとはいかなることかを扱う IL について定式化を与える。その上で本稿独自の主張として、Floridi 自身の IL では、エージェントによる情報保持が適切に記述できないような例(分散システムによる情報処理など)を指摘し、Floridi の IL について批判的検討を行う。最後に今後の展望として、正規様相論理を用いない形での IL の定式化について軽く言及を行う。

## (2) 研究の背景・先行研究

本節では[Floridi 2011b]で提示された IL について説明する．本稿において Floridi は，知識や信念と類比的な形で，エージェントによって情報が保持されているとはどのような事態であるかという点を中心に，その形式化を行う．ここでは Floridi 自身による IL に先立ち，Floridi による情報の定義を先に与える．その後，IL の定式化について簡潔にまとめる．

Floridi が彼自身が展開する情報の哲学において，もっとも中心的に考察するのは「意味論的情報(semantic information)」である．意味論的情報とは，(i)n 個以上のデータからなり，(ii)適切に形成され(well-formed)，(iii)有意味で(meaningful)，(iv)真である(truthful)という四つの条件を満たすものである[Floridi 2011a, p104; 2019, p.72]．そのため，意味論的情報は何らかの仕方で行うエージェントによって保持されるデータとなる．以上を踏まえると，次のような問題が浮上することとなる．つまり意味論的情報を中心に考察を進める場合，エージェントによって保持される知識や信念と類比的な形で，「意味論的情報  $\phi$  を保持している (be informed of  $\phi$ )」とはいかなることか，という問題である．そして，[Floridi 2011b]は IL をこの点に絞ったうえで，これらを知識や信念の保持について形式化する EL, DL と類比的な形で提示している．

以降は IL に先立ち，はじめに様相論理について簡単に説明する．様相論理は，古典命題論理に「必然的に  $\phi$  である ( $\Box \phi$ )」と解釈されるようなオペレーター  $\Box$  を追加した論理である．古典論理では各命題の間に成り立つ形式的な関係のみについて扱われるが，様相論理においては必然性や可能性など，命題に対して成り立つ様相(modality)についての形式的な関係について扱うことができる．以降では様相論理の基本的な整式(well-formed formula)と，最小の正規様相論理  $K$  を与える．

様相論理の整式  $\phi$  は

$$\phi ::= p \mid \perp \mid \phi \rightarrow \phi \mid \Box \phi$$

として与えられる(ただし  $p$  は命題変数)．また，その他の論理結合子については以下の略記を与えておく．

$$\neg \phi := \phi \rightarrow \perp, \quad \phi \vee \psi := (\neg \phi) \rightarrow \psi, \quad \phi \wedge \psi := \neg(\phi \rightarrow \neg \psi),$$

$$\Diamond \phi := \neg \Box \neg \phi$$

特に最後の  $\Diamond \phi$  は自然に「 $\neg \phi$  ということが必然的である，ということはない ( $\Leftrightarrow \phi$  は可能である)」と読まれる．

また，様相論理  $K$  のヒルベルト公理系は，次の二つの公理(i)古典命題論理におけるトートロジー，(ii) $K$  公理  $\Box(\phi \rightarrow \psi) \rightarrow (\Box \phi \rightarrow \Box \psi)$ ，および推論規

則  $MP(\phi$  と  $\phi \rightarrow \phi$  から  $\phi$  を導いてもよい) と必然化規則  $Nec(\phi$  から  $\Box \phi$  を導いてもよい) によって与えられる。

これを踏まえ、IL について確認する。[Floridi 2011b] では、様相オペレーター  $\Box$  をエージェント  $a$  ごとに相対化し、「 $a$  が情報  $\phi$  を持っている」を  $Ia \phi$  と表記する。また、様相オペレーター  $\Diamond$  との双対性と同様、

$$Ua \phi := \neg Ia \neg \phi$$

として、「 $a$  が  $\phi$  でない、という情報を持っていない」ことを「( $a$  の現在保持する情報を鑑みると)  $\phi$  を保持することは可能である」と導入する。

では、IL についてはオペレーター  $Ia$  を古典命題論理に追加して与えられるとして、IL はどのような公理によって特徴づけられるのか。Floridi 自身の議論では、はじめに様相論理を特徴づける複数の論理式が検討され、IL にふさわしい公理系が選択される。そして、この過程では最終的には次の二点が主要なポイントとなる。

(a) 意味論的情報の保持は内省を必要としない(4 公理/5 公理の拒絶)

(b) 情報の論理は様相論理  $K$  に  $T$  公理( $Ia \phi \rightarrow \phi$ ) と  $B$  公理( $\neg Ia \neg Ia \phi \rightarrow \phi$ ) を加えた  $KTB$  によって与えられる。

はじめに(a)について確認する。EL では正規様相論理上の様相オペレーター  $\Box$  を、エージェント  $a$  ごとに相対化し「 $a$  は  $\phi$  を知っている」と解釈し、これを  $Ka \phi$  と表記する。同様に BL では「 $a$  は  $\phi$  と信じている」を  $Ba$  とエージェントに相対化された形で与える。以降は EL, BL を比較する形で、IL の特徴である内省の拒否を確認する。

はじめに EL, DL を定式化する。EL には複数の定式化があるが、例えば [佐野 2016] や [山崎 2020] では、肯定的内省 ( $a$  は自分の知っていることを知っている)、否定的内省 ( $a$  が  $\phi$  を知らないなら、 $\phi$  を知らないことを知っている)、事実性 (知識は実際になりたっている) の三点が知識の特徴であるとする形式化を紹介している。これを様相論理の式で書き下せば、順に 4 公理 ( $Ka \phi \rightarrow KaKa \phi$ ), 5 公理 ( $\neg Ka \phi \rightarrow Ka \neg Ka \phi$ ),  $T$  公理 ( $Ka \phi \rightarrow \phi$ ) として与えられる。また同様に、[山崎 2020] では BL が 4 公理 ( $Ba \phi \rightarrow BaBa \phi$ ), 5 公理 ( $\neg Ba \phi \rightarrow Ba \neg Ba \phi$ ), および  $D$  公理 ( $Ba \phi \rightarrow \neg Ba \neg \phi$ ) の三つによって与えられるとする。特に最初の二つは、主体にとって信念は内省によってアクセス可能である点は EL と同様であり、ただ  $D$  公理のみが EL と異なる。これは知識が真である必要がある以上、EL では  $T$  公理が要請されていた。対照的に、信念は偽でもありうるが、しかし主体の内側では信念が整合的に保持されている必要があるため、DL では  $D$  公理が要請されている。

先のように定式化された EL, DL と比較し、情報の保持を扱う IL はどのよ

うに異なるのか。[Floridi 2011b, pp.232-236]では、EL や DL で与えられていた内省を特徴づける公理については IL では採用しないと、「情報  $\phi$  が  $a$  によって保持されているならば、情報『情報  $\phi$  が  $a$  によって保持されている』が  $a$  によって保持されている」ことを拒絶する。

この点について、Floridi は次のように論じる。例えばヒトとは異なったエージェントについて考える（以降はイヌを例とする）。イヌは環境に応じて様々な情報を保持する。例えば知覚を通じて情報「目の前に餌がある」や、「遠くから敵の忍び寄る足音がする」などを得ている。しかし、イヌがこうした情報に基づいて行為をしても、イヌ自身がまさにこうした情報に気が付いているかは怪しい。よって、信念や知識、特にヒトにとってのそれを考えている場合は、ヒトは高度な認知能力をもっているために内省することができるため、EL や DL では内省を示す 4 公理および 5 公理が要請されていたが、少なくとも情報を保持することを形式化する IL では、エージェントをヒトに制限しないため、ヒトに求められる内省などの高度な知的能力を必要としない、という意味で 4 公理などは拒絶されるのである。

次に (b) である。はじめに KTB という呼称であるが、これは最小の正規様相論理  $K$  に対して、T 公理 ( $\Box \phi \rightarrow \phi$ ) および B 公理 ( $\phi \rightarrow \Box \Diamond \phi$ ) の二つを公理として認めた様相論理である。ここで IL では様相オペレーターをエージェントごとに相対化した「 $a$  は情報  $\phi$  を保持している」という  $I_a \phi$  として解釈されることに注意しながら、以降はこれらの公理によって特徴づけられる IL の性質について確認する。

はじめに K 公理 ( $I_a(\phi \rightarrow \psi) \rightarrow (I_a \phi \rightarrow I_a \psi)$ ) であるが、これは自然に「エージェント  $a$  が  $\phi \rightarrow \psi$ 、 $\phi$  という情報を保持しているならば、 $\psi$  という情報も保持している」と読むことができる。Floridi 自身は任意の認知に関する関係がこの公理を満たすわけではないと注意しつつ、「知っている」、「信じている」、および「情報を保持している」という関係については受け入れられるとする。例えば EL では知識については閉包原理、つまり  $\phi$  と知っていて、しかも  $\phi$  から  $\psi$  が導出可能であることも知っているならば、 $\psi$  も知っていると自然に読むことができる。

次に T 公理 ( $I_a \phi \rightarrow \phi$ ) である。これは「情報として保持している  $\phi$  については、 $\phi$  が成り立っている」と読める。これは Floridi 自身が IL を、自身の提示する意味論的情報に対して与えているため、意味論的情報の必要条件である (iv) truthfulness からの自然な帰結であることがはっきりする。つまり、あくまでも Floridi の議論に乗る以上は、T 公理は単体では問題にならない。

最後に B 公理 ( $\phi \rightarrow I_a U_a \phi$ ) である。これは  $\phi$  が情報として成立する場合、

エージェントは $\neg\phi$ を保持することがない、という情報を保持していると読むことができる。そして先に指摘した T 公理の対偶( $\neg\phi \rightarrow \text{Ia}\phi$ )を取れば、 $\phi$ が成り立たないときには $\neg\phi$ が情報として保持されることはないことが言えるため、B 公理はエージェントの持つ情報は無矛盾であり、しかも無矛盾であるという情報をもエージェントは保持している、とすることができる。

以上が Floridi による IL の特徴づけである。最後に注意点を二つ述べる。第一に注意すべきは、情報を保持することは必ずしも心的状態を必要としない。よって情報保持の論理におけるエージェントは有機体に限定されず、例えばサーバーや計算機など、必要があれば情報を用いて処理を行うエージェント全般が当てはまる。第二に IL の特徴づけに際しては情報保持が満たすべき公理とは何か、という点から与えており、様相論理の標準的な意味論である Kripke 意味論上での解釈は [Floridi 2011b]では与えていない。

### (3) 筆者の主張

ここまでは Floridi による IL について確認を行った。今一度論点を指摘すれば、これは(a)情報を保持するエージェントは、必ずしも内省する能力を持たなくともよい、(b)IL は KTB によって特徴づけられる、という二点からとらえられた。以降は(I)K 公理への筆者による批判、(II)T 公理+必然化規則への先行研究による批判に着目することで、(III)IL に対する改善の余地を指摘する。

#### (I). K 公理に対する批判

Floridi によれば、情報保持について、そのエージェントにおいては K 公理が成り立つとされる。しかし、情報を保持しつつ、機会があれば自身の保持する情報について処理を行うエージェントについては、必ずしも K 公理が成り立たない例を与えることができる。ここで筆者が想定しているのは分散処理の場面である。例えば二つのサーバー A, B が与えられ、前者が「 $p \rightarrow q$ 」、後者が「 $p$ 」という情報を保持しているとする。そして二つのサーバー間には情報のやり取りを行うチャンネルがあり、サーバーの外部からクエリが飛ばされた場合には、相互の情報を参照する形で処理を行うと仮定する。つまり、外部から見た場合には、情報を保持するエージェントは分散処理を行うサーバー全体となる。

ここで、サーバー外部から「 $q$  か？」とクエリが飛ばされたとする。そして、サーバー A 上の「 $p \rightarrow q$ 」、B 上の「 $p$ 」を相互に呼び出し、これらに MP を適用して「 $q$ 」という結果を得たとする。この時、システム外部から見た場合は、分散処理全体では確かに K 公理を満たしているといえる。一方で、システムを構成する個別のサーバーでは、クエリを飛ばされる前では「 $q$ 」とい

う情報を保持しているとは必ずしも言えない。つまり、クエリを飛ばし、サーバー間で通信するという過程を得てようやく、システム全体は  $K$  公理を満たすことが可能となっている。そのためクエリを飛ばされる以前にはシステム全体は「 $p \rightarrow q$ 」, 「 $p$ 」という情報を保持しつつも、「 $q$ 」という情報を保持しているとは言えないのである。これを踏まえると、分散処理など情報が各サーバーに保持されつつ、しかも情報を保持するエージェントを分散プロセス全体とする場合、 $K$  公理を必ずしも満たさない、といえる場面が存在する。

### (II). $T$ 公理 + 必然化規則に対する批判

ここでは[山崎 2020]に基づいた批判を提示する。山崎は情報を保持する主体としてチューリングマシンを指定する。その上で、チューリングマシン上で一階ペアノ算術  $PA$  を実行すると、 $T$  公理に反することを示す。はじめに  $PA$  は証明可能性述語を含む。そのため、 $PA$  自身は  $\phi$  が与えられたときに、それが証明可能かを判定できる。よって  $PA$  から導出可能な  $\phi$  について、 $PA$  を実行するチューリングマシンは  $\phi$  を意味論的情報として保持していると思わせる。一方で、 $PA$  は自身の論理式に対する真理述語を含むことはできない。よって、 $PA$  を実行するチューリングマシンは、自身の保持する証明可能な論理式に関して、それらが真であるかを判定することはできない。そのため、 $T$  公理 ( $Ia \phi \rightarrow \phi$ ) および必然化規則を認めると、 $IL$  では  $Ia(Ia \phi \rightarrow \phi)$  が証明できる。しかしこの式についてはチューリングマシンに対して成立するとは言えない。なぜなら、情報を保持していても、その真偽についてチューリングマシンは判定を行えないからである。以上が[山崎 2020, pp.97-100]における批判である。その上で山崎は、チューリングマシンの外部で真偽を判定できるエージェント(具体的には人間)の存在を指摘する。

### (III) $IL$ には何が足りないのか

ここまで  $IL$  に対する批判を行った。以降は両者に共通する点を指摘するに先立ち、[Allo 2011]での批判を確認し、この批判を敷衍する形で筆者と山崎の批判を統合することを行う。

はじめに Allo の批判を確認する。Allo は  $KTB$  による公理付けに対して、その構文論的な側面にのみ着目していることを指摘する [Allo 2011, pp.420-421]。その上で、 $IL$  に対して構文論的な側面にのみ着目することは、 $EL$  において扱われる知識と  $IL$  における情報の差異について語る際に、それらがともに同じ構文論の枠内で扱われるため、両者の保持について積極的なテーゼを打ち出す手段がないこと、そして同じ構文論の枠内では積極的に打ち出される差異が、知識と情報のどのような特徴によって生じるかを分析することが難しい点を指摘する。その上で、 $IL$  に対しては情報を保持するエー

エージェントと情報の関係は、実際にはどのようなになっているのかという意味論 (semantic) からアプローチすることを提唱する [Allo 2011, p.421].

ここでは Allo による IL の意味論的な特徴づけには立ち入らないが、筆者と山崎の指摘は Allo と同様の点を捉えていると考えられる。つまり、両者は IL の公理に対する自然な読みと、実際に情報が処理される際のエージェントのあり方のギャップを指摘することで IL への反例を示唆する点では共通している。そしてこうした批判の根底には、Floridi は論理式の自然な読みという構文論的な特徴づけから IL を与える反面、実際にエージェントがどのように情報を処理するのかという側面を意味論の方向から特徴づけないことに由来すると考えられる。なぜなら、両者はともに外部の観察者から見た場合には情報を保持するエージェントとして捉えられるが、しかしエージェント単体では情報を保持しているとは必ずしも言えない事例を持ち出しており、これはエージェントが情報を保持することは、実際にはどのようなことであるのか、という点を制約する意味論的な側面が欠如しているために可能となっていると考えられるためである。

以上をまとめると次のようになる。筆者と山崎はそれぞれ別の反例を持ち出すことで IL の公理を批判したが、両者はともに IL の意味論的な特徴づけの不在という点が批判の共通点として指摘された。そしてこれは IL には公理系による特徴づけだけではなく、エージェントによって情報が保持されるのはどのような事態であるのかという意味論的な特徴づけも、同様に要請されるということである。以上が IL に対する筆者の主張である。

#### (4) 今後の展望

本稿では、はじめに IL が「 $a$  が情報  $\phi$  を保持している」ということを形式化するための論理であり、それが KTB と同等であるとされた。その上で筆者および山崎による K 公理, T 公理 + 必然化規則の批判を確認した。その後、両者がともに IL が意味論的な特徴づけを与えられていない点に由来するというのが筆者の主張である点を確認した。これを踏まえると、IL を定式化する際にはどのような意味論が要請されるのか、という点が問題になる。

例えば [Allo 2011, p.422] では様相論理の意味論として通常考えられている Kripke 意味論上の到達可能関係と、情報保持における到達可能関係が異なるものである可能性が指摘される。なぜなら、EL におけるオペレーター  $Ka$  では「 $a$  が  $\phi$  を知っている  $\Leftrightarrow a$  にとって現実世界と区別がつかない任意の世界で  $\phi$  が真」という意味論が与えられるが、オペレーター  $Ia$  が同等に解釈されるかは議論の余地がある。なぜなら、EL 上のエージェントと同等の処理能力を IL のエージェントが持つかは不明瞭なためである。そうであるなら

ば、ILにおいては情報保持の関係について Kripke 意味論とは異なるフレームで情報間の関係性を考える必要がある。

ではこのような制限下で、Floridi が構想していた IL はどのように改良されるのか。Allo が指摘するように、情報を保持するエージェントで成り立つ到達関係は、EL や DL で想定されている Kripke 意味論とは異なるものであると考えられる。そして、分散システムやチューリングマシンではシステムとそれを観察するエージェント間で情報のやり取りが生じ、結果として情報保持についての変化が記述されていた。これを踏まえると、IL における適切な論理は、エージェント間における情報の流れを記述することが可能な論理であると想像される。そして筆者は現状、[Barwise and Seligman 1997]で提示されたチャンネル理論が、情報を保持するエージェントがどのように情報を伝達し、また情報保持の状態が変化するかを記述するのに有用ではないかと想定している点を指摘し、本稿を閉じたいと思う。

#### (5) 参考文献

Allo, Patrick, 2011, “The logic of 'being informed' revisited and revised”, *Philosophical Studies*153 (3), 417-434.

Allo, Patrick ,2016, “The Logic of Information” in Floridi, Luciano ed. *The Routledge Handbook of Philosophy of Information*, 59-76.

Barwise, Jon and Seligman, Jerry, 1997, *Information Flow*, Cambridge University Press.

van Benthem, Johan and Martinez, Maricarmen, 2008, “The Stories of Logic and information”. in Adriaans, Pieter and van Benthem, Johan ed. *Philosophy of Information: Handbook of The Philosophy of Science*. North-Holland Publication, 217-280.

Floridi, Luciano, 2011a, “Semantic information and the veridicality thesis”, in Floridi 2011c, 80-107.

Floridi, Luciano, 2011b, “The logic of being informed”, in Floridi 2011c, 224-243.

Floridi, Luciano, 2011c, *The Philosophy of information*. Oxford University Press.

Floridi, Luciano, 2019, *The Logic of Information*. Oxford University Press.

Mares, Edwin, 2024, *Logic and Information: Elements in Philosophy and Logic*, Cambridge University Press.

佐野勝彦, 2016, 「様相論理入門」 in 菊池誠編, 『数学における証明と真理様相論理と数学基礎論』, 共立出版, 24-96.

山崎紗紀子, 2020, 「情報所有状態の論理とその哲学的基礎: フローリディの  
所説の批判的検討を通じて」, 『哲学誌』(62), 東京都立大学哲学会, 81-101.  
(北海道大学)