Vol.2021-CE-162 No.23
Vol.2021-CLE-35 No.23
2021/12/5

ロジカルシンキングにおける因果関係のネットワーク構造抽出誤り事例の分析

林浩一 [1]

概要：問題の原因のさらなる原因を探索することで，根本原因を見つけ，そこに対策を打つことで，課題の抜本解決を図る課題解決の方法はよく知られている．このときに，問題事象を示す図形要素を，因果関係を表す矢印で結合して作られるネットワーク(以降，因果ネットワーク)は，ロジカルシンキングでの課題解決の手段としてしばしば用いられる．本論文は 2020 年に起きた東京証券取引所のシステム障害(以降，東証事例)を報じた記事を題材にして，因果ネットワークを作成する演習を行ったときに観察された誤り事例について紹介し，課題解決手法の教授における課題について議論する．

キーワード：ロジカルシンキング，クリティカルシンキング，ピラミッド原則，Minto モデル，因果関係，読解力

Case analysis about extraction errors of network structure that represents causal relation in logical thinking

KOICHI HAYASHI†

Abstract: In logical thinking it is well known problem-solving technique that is searching for a further cause of the problem, finding the root cause, and taking countermeasures there. To support the technique, a network (referred as a causal network) that is formed by connecting graphic elements representing problems and causes with arrows representing causal relation is often used. This paper introduces the error cases observed during the exercise to create a causal network based on the article reporting the system failure of the Tokyo Stock Exchange in 2020 (referred as TSE case), and discuss the difficulties faced when teaching the problem-solving technique.

Keywords: logical thinking, critical thinking, pyramid principle, Minto model, causal relationship, reading skills

1. はじめに

小学校でのプログラミング教育の目的の一つとして論理的思考力を身に付けることが挙げられていることから，ロジカルシンキングの重要性はこれまで以上に高まっている[1]．しかし，論理思考力は長年にわたって，多くの日本人が苦手とするスキルであるとして，改善の必要性が指摘されてきた重要な課題であるにもかかわらず，その論理思考力が何を意味するのかについては必ずしも明確ではない．

論理思考については，複数の考え方が存在しているが[2]，そのこと自体，広く認識されていない．大学教育の現場とビジネス現場でロジカルシンキングの意味が異なっていることには，特に注意を払う必要がある．

2000 年以降，「ロジカルシンキング」と呼ばれるコンサルタントの手法が日本のビジネス現場に広く普及を果たした．この手法は，米国の戦略コンサルティング会社に在籍していたバーバラ・ミント氏が考案したピラミッド原則を中心とするノウハウ群であり，その有用性から広く国際的に認知され利用されている[3]．

この手法を紹介し，ベストセラーになったビジネス書籍[4]の書名が「ロジカルシンキング」であったことから，日本ではその名称で呼ばれているが，それ以前から学術的に体系化されている論理との関係は薄い．本論文では，他の手法と明確に区別するために Minto モデルと呼ぶ．

Minto モデルの内容はコンサルタントの実践経験に基づく現場ノウハウを整理したものにとどまり，有用ではあるが基礎となる理論背景は脆弱である．こうした事情から学校教育には取り入れることは難しため，学生の多くは卒業してビジネス部署に配属されてから習得が求められるが，計算機科学など正規の論理学を基礎とする分野を学んだ理系学生ほど，内容のギャップに戸惑うことになる．

筆者らはこの課題認識の下，学校教育において，ロジカルシンキングを適切かつ効率的に教授するための手法を実践と理論の両面から提案してきた[5]．この活動を通じて，学生であるか，一般社会人であるかに関わらず，無視できない割合で，原因と結果の関係を表す因果関係と，根拠と主張や結論の関係を表す論証関係の混同が生じることが明らかになっている[6]．

本論文では，さらに因果関係についても抽出が正しくできない可能性が高いことを，2020 年度と 2021 年度に実施したロジカルシンキングの授業における，因果ネットワー

1 武蔵野大学 MUSIC／教養教育リサーチセンター
Musashino University

Vol.2021-CE-162 No.23
Vol.2021-CLE-35 No.23
2021/12/5

クの抽出演習の結果によって示す．因果ネットワークはロジックツリーと呼ばれる構造化手法の一つで，問題の原因を探索することで作られるネットワーク構造である．

この構造が重視されるのは課題解決を体系的に進めることを可能にするからである．問題を引き起こしている原因を探索して本質的な原因を特定し，そこに対策を打つことで問題を抜本的に解決することが可能になる．

本論文で実施結果を紹介する演習は，2020 年に起きた東京証券取引所のシステム障害を報じた記事を題材にしたものであるが，無視できない割合の学生が原因の特定を誤ることが観察された．これらの誤りの原因仮説を示し，課題解決手法の教授における課題について議論する．

2. 関連研究

2.1 ロジカルシンキング

ロジカルシンキングは，米国のコンサルティング会社，マッキンゼー社に由来する課題分析と資料作成の技法である．2000 年以降，多くの書籍やセミナーを通じてビジネス現場に広く普及，定着した．

日本では，同名のベストセラー書籍のタイトルから「ロジカルシンキング」と呼ばれるが，バーバラ・ミント氏によって考案されたピラミッド原則の日本普及版である．本論文では，他の手法との違いを明確にするため，Minto モデルと呼ぶ．

Minto モデルに基づく論理思考の解説書の多くは，導入部分で演繹や帰納などの古典論理の用語を使用してはいるが，学術分野で認知されている意味での論理との整合はとられていない．

筆者らの研究は，この手法の有用性を活かしつつ，他の分野での論理との理論面の整合を図ることで，学校教育に取り入れられる教授体系の構築を目指すものである．

Minto モデルの論理思考は，さまざまな書籍やセミナーでの普及活動を通じて，日本ではおおむね以下のような手法と概念を包含する手法として定着している．いずれも，効果的な資料の作成をする上で有用な手法である．

- MECE
- So what? / Why so?
- ピラミッドストラクチャ
- ロジックツリー
- フレームワーク

本論文で報告する演習事例はこのうちロジックツリーに関わるものである．

2.2 ロジックツリー

ロジックツリーは Minto モデルに含まれる手法の中でも，使用頻度の高い主要なツールの一つであるが，その定義には問題がある．ロジックツリーには様々な種類のものがあるにも関わらず，多くの場合，一種類のものしか定義していない．こうした欠落は，科学技術の正規の教育を受けた研究者や技術者を混乱させる要因のひとつである．

Minto モデルの解説書では，MECE という概念を使ってロジックツリーを定義している．MECE は，Mutually Exclusive, Collectively Exhaustive の頭文字をとったもので，排他的かつ網羅的に集合を分割していくことを意味している．MECE の分割を繰り返してできる多階層分類の構造のことをロジックツリーであるとしている．

しかし，ロジカルシンキングで使われるツリー構造の種類はこれにとどまらない．目的を手段に分割してできるツリー構造，問題の原因を分解してできるツリー構造，課題を分類したツリー構造など目的に応じて多種多様なロジックツリーが利用される．これらをすべて多階層分類の構造の定義だけで捉えることは適切ではない．

本論文で扱うロジックツリーは問題の原因を探索してできるもので，WHY ツリーと呼ばれることが多いが，後述する理由から筆者らは因果ネットワークと呼んでいる．

2.3 読解力評価

本論文で扱う誤りは，記述されている文から，因果関係を読取れないことを問題にしていることから，読解力に関わる．読解力については，文章の読み取りから論理思考力を評価する様々な調査が実施されている．OECD(経済協力開発機構)によって行われている国際的な学習到達度調査 PISA(Programme for International Student Assessment)もその一つである[7]．こうした読解力評価はいずれも長文の中から必要情報を取り出し，内容を適切に理解しているかどうかを見るものである．

これに対し，新井は書籍[8]にて，子供達がテスト問題を解くために前提となる，読解力を持っていないのではないかという問題を提起し，そのスキルを評価するための RST(Reading Skill Test)を開発している．この読解は長文でなく，テスト問題程度の短文の読解力の評価を行う点で，従来の読解力評価アプローチとは異なる．

本論文の演習も読解力評価と位置づけることも可能ではあるが，取り出すべき構造が決まっていることから，よりプリミティブなスキルとして関係性の読取りができているかを問うものである．

2.4 関係性の読取り

関係性の読取りについては，書籍[9]では文章の要約を目的とし「抽象と具象」「全体と部分」「主張と根拠」「結果と原因」「目的と手段」の 5 種類の関係に着目し，ロジックツリーを組み立てることを提案している．

筆者らが進めている学校教育向けのロジカルシンキングの体系化は，基本的にこの考え方の延長線上にある．それぞれの関係からなる構造と相互変換を定義することで資

Vol.2021-CE-162 No.23
Vol.2021-CLE-35 No.23
2021/12/5

料作成のプロセスの定式化を目指している．本論文ではこのうちの「結果と原因」の読取りをテーマとしている．ただし，目的は要約ではなく，課題解決のための要因分析としている点で異なる

3. 因果関係の読み取り

筆者らは 2016 年度から 2019 年度までの 4 年間，工学系大学の修士課程向けのロジカルシンキングの授業を開始したが，2020 年度からは情報系専門学校の 1 年生に対してロジカルシンキングの授業を実施している．前期後期それぞれ，90 分授業を連続 2 コマで 15 週間かけて行う．

前期は論理の組み立てから文書の作成に関する手法として，論証図とピラミッド構造を中心に学習する．後期は課題解決と卒論作成に関する手法として，因果関係を扱う因果ネットワーク，目的展開のためのゴールツリー，各種フレームワークを中心に学習する．

本論文では，この授業の一部として，2020 年度と 2021 年度に共通で実施した因果ネットワーク作成課題の実施結果を分析する．

3.1 因果ネットワーク

結果となる事象と原因となる事象を「引き起こす」という関係を示す矢印で連結することで因果関係を表現することができる(図 1)．この結果事象と原因事象の連鎖によってネットワーク構造を構成することができる(図 2)．

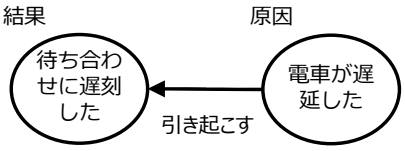


図 1 因果関係の表現

Figure 1 Representation of causal relation

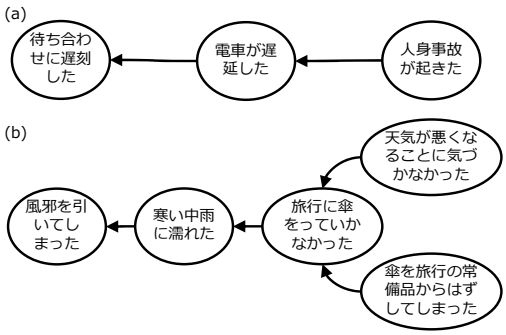


図 2 因果ネットワーク

Figure 2 Causal networks

ロジカルシンキングにおいては，このようにして構成したが構造がしばしば扱われ，WHY ツリーと呼ばれる．ただし，実際には原因の共有やループを形成することができることから，ツリー構造よりも複雑なネットワーク構造となることが多い．構造についての誤解を招く懸念があることから，筆者らの授業では，因果ネットワークと呼んでいる．

ロジカルシンキングにおいて，因果ネットワークが重要になるのは，課題解決に有用だからである．問題解決の手順として，問題を生じさせている原因を特定し，さらなる原因があれば真の原因まで探索して，それを解消するという手順は広く知られている．因果ネットワークを作成することで，複雑な因果関係を可視化し，体系的に原因を検討するとともに，検討結果について共通の理解をすることが可能になる．

3.2 対象事例と設問

授業では，上述した因果ネットワークの説明の後，テキスト中に記述された因果関係から，因果ネットワークを作成する演習を繰り返し行う．演習問題の多くは，演習用に作成したものであるが，現実の課題への適用力を身につけるために，実際の事件や事故の記事を使った演習も行っている．本論文で紹介するのは，以下に示す演習である．

【設問】リンク先の記事を読んで，東証のシステム停止が起きた原因を整理する因果ネットワークを作成しなさい．

(以下リンク先)

東証のシステム障害，原因は自動切換用の設定

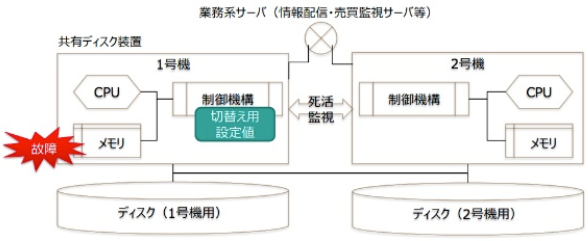
東京証券取引所は，10 月 1 日に株式売買システム「アローヘッド」で障害が発生し，終日取り引きができなくなった問題で，その後の調査結果を明らかにした．

今回の障害では，両現用で動作する冗長構成の共有ディスク装置の 1 台においてメモリの故障が発生．故障発生時はフェイルオーバーによって 1 台構成で動作するしくみのはずが，想定通り機能しなかった．

同取引所では，システムを納入した富士通と原因究明を進めてきたが，障害時の切り替え機能において，メモリ故障に起因する障害パターンの場合に，故障検知時の自動切替えが機能しない設定となっていたことが判明したという．

設定を見直すことで，メモリ故障に起因する障害であっても自動切り替えは可能で，原因の判明を受けて東証では 10 月 4 日に設定を変更．2 台ある共有ディスク装置双方の死活監視機能によって自動切り替えが動作することを確認した．

同取引所では，さらなる原因分析やシステム設定の点検など進めるとともに，再発防止策を引き続き検討するとしている．



（Security NEXT - 2020/10/06 より引用）
https://www.security-next.com/119222

Vol.2021-CE-162 No.23
Vol.2021-CLE-35 No.23
2021/12/5

3.3 基準正答例

対象事例の正答例の基準とする構造を図 3 に示す．事象の単位の切り分け方などの違いがあるため正答にはバリエーションがあるが，以下に挙げる点から正誤を判断する．

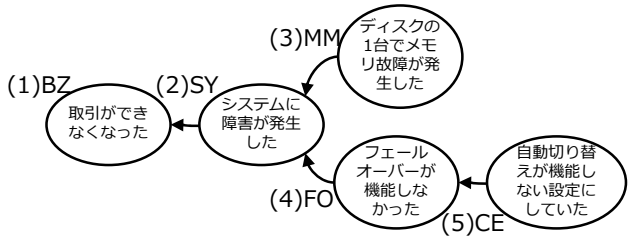


図 3 対象事例の正答例

Figure 3 Correct answer example of the target case

(1) **取引停止 (BZ)**

起点となる問題が，記事の読者の多くにとって関心がある事象として指摘されていること．具体的には，証券取引ができなくなったことである．外部に影響を与えない範囲のシステム上のトラブルは，本事例の記事の読者の関心事ではないと想定できる．

(2) **システム障害 (SY)**

起点となった問題の直接の原因がシステムの障害であることが指摘されていること．実際にはシステムの障害から取引停止までの間には，人間の判断を含め様々な事象が発生していると考えられるが，記事の記述中から把握できる範囲では，取引停止の原因はシステム障害であると判断できる．

(3) **メモリ故障 (MM)**

システム障害の引き金になった原因が，ディスクのメモリ故障であることが指摘されていること．メモリ故障はあらかじめ予測ができない種類の異常事象であり，システム障害を引き起こした原因であると考えられる．

実際にはメモリ故障による，ディスク停止などの障害が連鎖的に発生した結果，システム障害に至ったと考えられるが，メモリ故障がなければ生じなかったことは明らかである．課題解決の観点からも，故障したメモリの交換，より信頼性の高いメモリの選定，定期的なメモリの状態確認などの対策を考えるために，メモリ故障が障害の原因と捉えるのが適切である．

(4) **フェールオーバー機能不全 (FO)**

フェールオーバーが機能しなかったことがもう一つの原因として指摘されていること．フェールオーバーは，高信頼性が要求されるデータストレージを構成する際に使われる一般的な技術である．

冗長性をもたせた複数のデータストレージでデータを管理し，一台で障害が発生しても，他のストレージを用いて処理を続行することを可能にするものである．今回の障害は，このフェールオーバーが適切に動作せず，一台のデータストレージの障害がシステム全体に波及してしまったものである．仮に，適切に動作していればシステム障害へは発展しなかったことから，動作しなかったこともシステム原因の一つだと判断するのは妥当である．

(5) **フェールオーバー設定誤り (CE)**

フェールオーバーが機能しなかった原因として設定誤りが指摘されていること．フェールオーバーが機能しなかった原因は，メモリの故障による障害時には自動切り替えが機能しない設定になっていたと記載されている．

実際に両現用のシステム構成で，自動切り替えというメカニズムが，フェールオーバー時にどのように動作するのかについては，この記事の内容だけでは理解できないが，設定誤りが本質的な原因であったと判断できる．

3.4 課題の特性と補足説明

因果関係を抽出する課題として，本課題は以下の特徴を持っている．

3.4.1 事象の進行時系列

実際の記事を利用していることから問題と原因の因果関係だけが記述されているわけではない．障害発生からメーカーがどのように調査活動をしているかということも含めて記載されている．このため因果関係の読み取りが難しくなっている．

図 4 に事象の時系列での流れを示す．メモリ故障が発生したことが事態の起点となるが(①)，それによって動作するはずのフェールオーバーが動作しなかったために(②)，システムの障害が発生した(③)．その結果として，取引が停止され(④)，メーカーによる原因の調査が開始し(⑤)，原因となる設定誤りが特定された(⑥)．さらに，設定誤りを修正し，再稼働を行った後，調査を継続している(⑦)．

ここで，①~③は最初からわかっていたことではなく，障害発生後の調査によって遡って判明したものである．また，時系列では，①メモリ故障(3)から②フェールオーバーの動作しなかった(4)という順序になるが，これらには直接の因果関係がないことに注意が必要である．

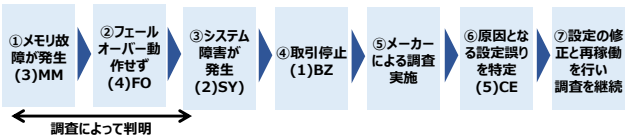


図 4 事象の時系列の流れ

Figure 4 Time-series flow of events

3.4.2 フェールオーバーの理解

記事の内容を理解するには，フェールオーバーのメカニズムについての知識が必要になる．授業を行ったクラスは情報システム専攻であるためデータベースに関する知識は持っていたが，多くの学生はフェールオーバーについての

Vol.2021-CE-162 No.23
Vol.2021-CLE-35 No.23
2021/12/5

知識を持っていなかった．そのため，課題の説明としてフェールオーバーについての説明を補足した上で，課題に取り組んでもらった．

4. 実施結果

4.1 結果の概要

本課題は，2020 年度と 2021 年度にそれぞれ実施した．2020 年度は，35 名中正答者は 8 名(23%)，2021 年度は 28 名中正答者 6 名(21%)という，低い正答率となった(表 1)．正誤の判断は，図 3 に示した(1)~(5)のポイントを含むこととしている．ただし，図 5 に示すように，一つの事象図形中に，(1)と(2)を両方含むもの，図 6 に示すような(1)のみがないものも正答として計上している．

表 1 正答率

Table 1 Correct answer rate

	学生(2020 年度)	学生(2021 年度)
人数	35	28
正答者	8	6
正答率	23%	21%

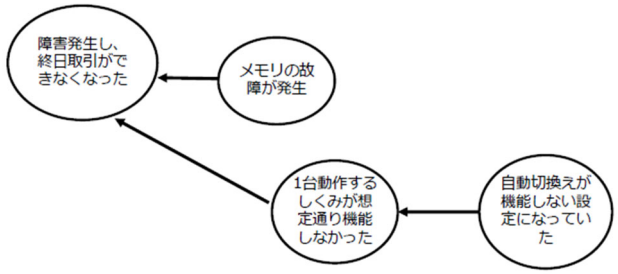


図 5 正答バリエーション(起点事象マージ)

Figure 5 Correct answer variation (root event merge)

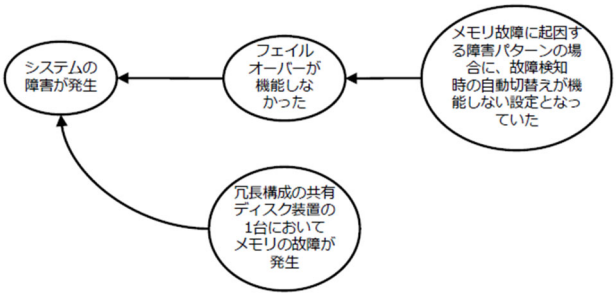


図 6 正答バリエーション(起点漏れ)

Figure 6 Correct answer variation (missing root event)

4.2 誤答パターン

実施の結果得られた誤答を，FM，MF，IR のパターンに分類した．複数の特徴を持つものは両方に計上している．

4.2.1 FM パターン

図 7 に示すようにフェールオーバーが機能しなかった原因として，メモリ故障を挙げているもの．図 8 に具体的な誤答例を示す．このように，メモリ故障をシステム障害の直接の原因(3)として捉えられていない例が多い．

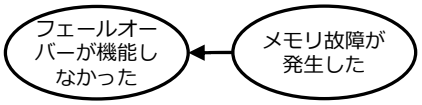


図 7 特徴的な誤りパターン(FM)

Figure 7 Characteristic error pattern (FM)

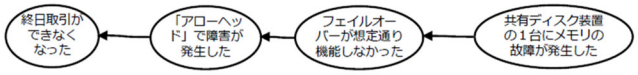


図 8 誤答例(FM/メモリ故障原因漏れ)

Figure 8 Wrong answer example (FM/missing memory error)

4.2.2 MF パターン

FM パターンと逆のパターンで，図 9 に示すようにメモリ故障の原因として，フェールオーバーが機能しなかったことを挙げているもの．図 10 に具体的な誤答例を示す．このように，フェールオーバーが機能しなかったことをシステム障害の直接の原因(4)として捉えられていない例が多い．

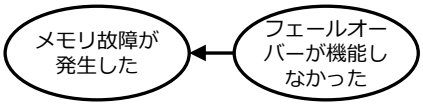


図 9 特徴的な誤りパターン(MF)

Figure 9 Characteristic error pattern (MF)

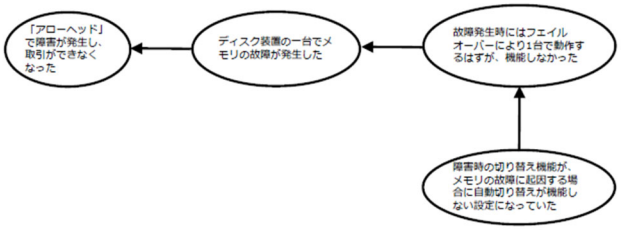


図 10 誤答例(MF/フェールオーバー原因漏れ)

Figure 10 Wrong answer example (MF/missing failover error)

4.2.1 IR パターン

例外パターン．原因分析とは別の視点が入っていて，正答とは大きく構造が異なっているもの．様々な種類があるが，誤答した理由を想定できる例を以下に挙げる．

(1) 時系列混入

図 11 の例は，メモリ故障からフェールオーバーが機能しなかった状態までの事象の時系列を記述していると見られる誤答である．

Vol.2021-CE-162 No.23
Vol.2021-CLE-35 No.23
2021/12/5

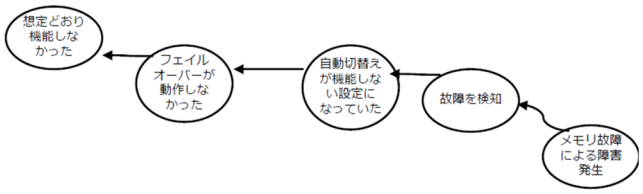


図 11 誤答例(IR/時系列混入)

Figure 11 Wrong answer example (IR/time series mixing)

(2) 調査経緯混入

図 12 の例は，メーカーによる調査活動を含んだ事象の時系列を記述していると見られる誤答である．

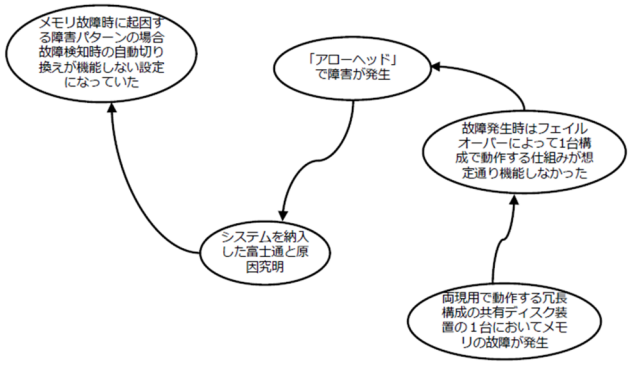


図 12 誤答例(IR/調査経緯混入)

Figure 12 Wrong answer example (IR/investigation mixing)

(3) 調査経緯混入

図 13 の例は，メモリの故障検出からフェールオーバーの動作失敗までをシステムの視点で記述していると見られる誤答である．

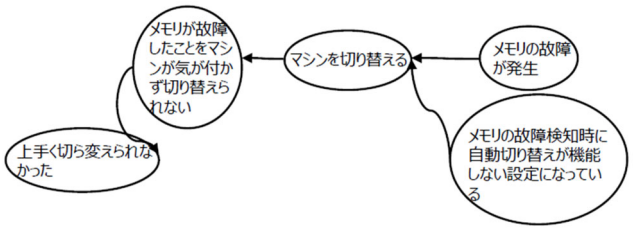


図 13 誤答例(IR/マシン視点)

Figure 10 Wrong answer example (IR/machine view)

(4) 記述順

図 14 の例は，記事で記述している順で内容をサマリーし，線で結んだと見られる誤答である．

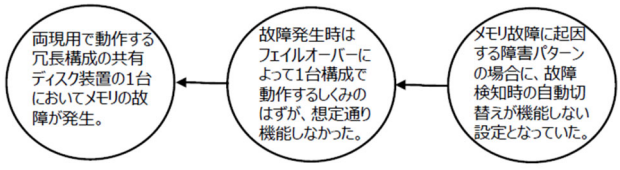


図 14 誤答例(IR/記述順)

Figure 14 Wrong answer example (IR/describing order)

5. 結果の考察

5.1 各回の特徴分析

図 15 と図 16 に，2020 年度と 2021 年度での解答のパターンを示す．それぞれの解答について，正答が満たすべき(1)~(5)のポイントを満たしているかどうか判断し，その個数を計上した． また，上述した 3 種類の誤答パターンに該当する解答について，各ポイントの回数と比較しやすくするために，負の数として計上した．

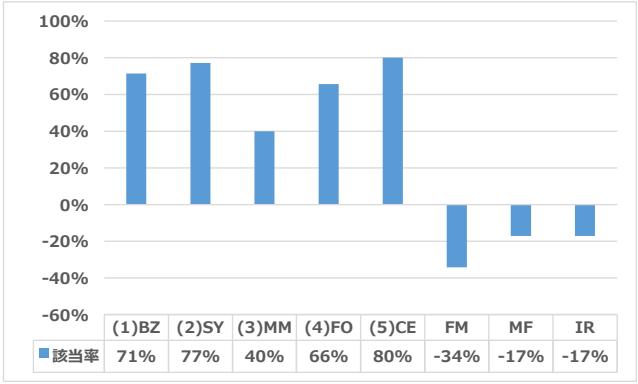


図 15 解答パターン(2020 年度)

Figure 15 Answer pattern (2020)

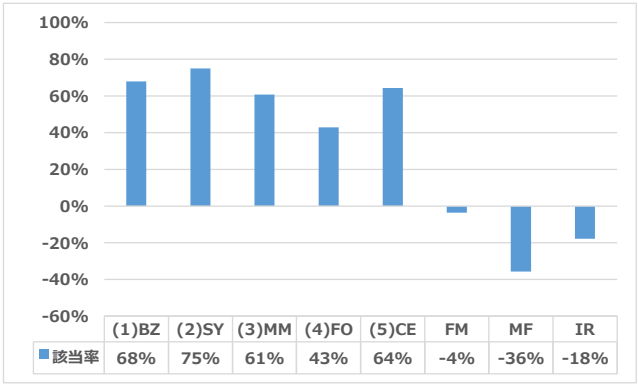


図 16 解答パターン(2021 年度)

Figure 16 Answer pattern (2021)

2020 年度と 2021 年度の実施結果に共通の特徴として次が挙げられる．

(1) 起点の指摘

起点となる問題点は 80%以上が適切に捉えることができている．

(2) 根本原因の指摘

問題を引き起こした根本原因であるフェールオーバー設定の誤りをいずれも高い割合で指摘できている．

(3) 例外パターンの誤答

いずれも 20%弱を例外パターンの誤答が占めている．

2020 年度と 2021 年度の顕著な差としては以下が挙げられる．

(4) **指摘原因件数の逆転**

フェールオーバーを原因と考えている解答数とメモリ故障を原因と捉えている解答数の大小が逆転している．2020 年度は原因の指摘として，メモリ故障が 40%，フェールオーバー失敗が 66%であったのに対し，2021 年度では，メモリ故障が 57%，フェールオーバー失敗が 46%となっている．この傾向は，誤答の FM パターンと MF パターンにも連動しており，同様に大小が逆転している．

5.2 原因仮説と解決指針

問題の原因分析は，問題を解決する上で必須のスキルである．今回の事例での正答率は 20%程度にとどまり，高いとは言えない．この例では，2 つの原因系を把握してそれぞれに手を打つことが求められるので，この分析能力の低さは課題解決の効率を低下させる要因となり得る．本論文では示していないが，同様の課題を社会人に課した場合でも，同様に正答率が低いことが筆者らの調査によってわかっている．

原因分析のスキル向上のためには，誤答の原因を把握して改善手段を検討する必要がある．本事例における誤答の原因仮説には以下が考えられる．

5.2.1 フェールオーバーに関する理解不足

本課題を正答するにはフェールオーバーの理解が不可欠である．そのため課題に取り組む前に説明を行っているが，十分な理解ができずに正しく解答できなかった可能性がある．また，説明の仕方によって原因の選択が変わる可能性もある．

これまでの調査では，理解して解答しているのかどうかはわからないが，次回の実施の際には並行してフェールオーバーの説明をさせるような設問を行うことで，把握することが考えられる．

5.2.2 他の関係の順の混入

題材とした記事の特性から，因果関係以外に複数の関係性が記述されていることによって，他の関係が混入したことが考えられる．

前述したように，事象の時系列を考えると，メモリ故障が先で，フェールオーバーが動作しないが次に起き，結果につながっていく．これにより，原因をフェールオーバーしなかったこととして，その原因をメモリ故障であるとする FM パターンの誤答が増える可能性が考えられる．2020 年度の特徴はこの影響であった可能性がある．

他にも IR パターンの誤答例で挙げたように，システム視点での時系列が混入したり，メーカーによる調査の流れが混入したりすることが考えられる． また，文章の記述順が理解に影響を与える可能性もある．

5.2.3 誤答パターン逆転の原因

2021 年度に誤答の MF パターンが多くなっている理由は現在説明がつかないが，解釈の違いの結果である可能性は否定できない．まず，フェールオーバーを異常事象への対抗措置であることを正しく認識できなければ，メモリ故障を障害の直接原因と認識することは難しいと考えられる．その上で，フェールオーバーが動作しなかったことが，メモリ故障の原因であるいう理解は明らかに誤りではある．しかし，フェールオーバーが動作しなかったことがメモリ故障がシステム障害につながってしまったことの原因と考える解釈は可能である．

ただし，この場合でも，メモリ故障という直接の原因と，メモリ故障をシステム障害に波及させてしまったという，2 系統の原因を分けて考えることが，適切な対応のためには必要になる．したがって，原因をメモリ故障だけと捉えるのはやはり誤答として扱うべきである．

5.3 課題の普遍性

本論文で検討した事例は，広く知られた障害事例を用いて因果関係の演習を行った結果である．この事例は重大な結果を引き起こした事故として認識されているという点ではレアケースであるが，課題の構造としては広い普遍性を持っている．

一般化すると，予測できない例外的な障害への対応措置に失敗するという種類の課題であり，システムに関連する場面はもちろん,その他の場面で広く見られるものである．

たとえば，システムに関するものでは，プログラミングにおいて例外処理は必ず用意する必要があるが，そこに不具合があるような場合である．システム関連以外でも，たとえば，災害時のために用意していた備品の有効期限が過ぎている，交通事故時の衝撃を吸収するためのエアバッグが開かない，スマートフォンのバッテリー切れへの対応のためのモバイルバッテリーが充電切れになっている等，大小様々なトラブルに共通の構造である．

いずれも，起きてほしくないことへの対策が失敗するために，起きてほしくないことが本当に起きてしまうという構造であり，極めて重大な結果に発展しかねない．こうした課題を適切に解決するためには，正しく因果関係分析ができるスキルは重要である．

5.4 プログラミングを通じた習得

因果関係分析のスキルは，訓練によって向上させることができると考えられる．プログラミングにおける例外処理や，システムの運用についての基本スキルとして，情報教育の一部として学習することが望ましい．

プログラミングにおけるデバッグプロセスに焦点を絞った学習支援の提案もされているが[10]，課題解決スキル獲得を目的としているものではない.デバッグの作業には，

Vol.2021-CE-162 No.23
Vol.2021-CLE-35 No.23
2021/12/5

問題の認識から，原因の探索，修正までの問題解決に必要なプロセスをすべて含んでいる．

しかし，デバッグを繰り返すだけでは構造の抽出を身につける事は難しい．そう考える理由は，論文[6]において，技術職・エンジニアの論証関係読取りの成績が必ずしも良くないからである．技術職・エンジニアは必ずしもプログラミングに関わるわけではないが，技術の改善を行うプロセスは共通で日常的に行っているはずである．

デバッグ作業のプロセスが自己完結する場合，原因の探索と修正は分離されないまま進行する．また，プログラミングに特化した指導では，データやアルゴリズムの確認といったより細かい作業に埋没してしまうため問題解決のための一般的なプロセスを認識しにくくなる．原因の特定から対策の立案までのステップと，実施するステップの二段階に分けて実施することで，前半の因果関係分析組み立てを効果的に学習できる可能性がある．

6. おわりに

本論文では，社会的に大きなニュースともなった事例を用いた因果関係抽出課題の実施結果について報告するとともに誤答の原因について検討したものである．記事から因果関係を読み解くことから，広い意味では読解力不足という問題の一つとしても捉えることはできる．しかし，上述したように重大な結果にもつながることから，重要な関係性を抽出するという観点で，より絞り込んだ問題として設定し解決を図るべきだと考える．

筆者らは引き続き，因果関係の抽出誤りの原因の特定と，抽出スキル向上のための手段について検討を継続していく．

参考文献

[1] 文部科学省, 小学校プログラミング教育の手引（第三版）2020,69p.
[2] "ロジカルシンキング - Wikipedia". https://ja.wikipedia.org/wiki/ロジカルシンキング, (参照 2021－02－15).
[3] バーバラ ミント (著), 山崎 康司 (翻訳). 考える技術・書く技術—問題解決力を伸ばすピラミッド原則. ダイヤモンド社, 1999, 289p.
[4] 照屋 華子, 岡田 恵子. ロジカル・シンキング—論理的な思考と構成のスキル. 東洋経済新報社, 2001, 227p.
[5] 林 浩一.ドキュメント作成へのロジカルシンキング活用における課題と解決試案, 情報処理学会研究報告, 2019, vol. 2019-DC-113 no. 4, p.1-9.
[6] 林 浩一. ロジカルシンキングにおける論証関係の読取り誤りの世代・職業・学歴別の傾向分析, 情報処理学会研究報告, 2019, vol. 2021-CE-160, no.9, p.1-10.
[7] 文部科学省・国立教育政策研究所, OECD 生徒の学習到達度調査(PISA2018)のポイント, 2019, 16p.
[8] 新井 紀子, AI vs. 教科書が読めない子どもたち. 東洋経済新報社, 2018, 287p.
[9] 佐藤 佐敏. 5 分でできるロジカルシンキング簡単エクササイズ—要約力アップの論理的思考トレーニング, 学事出版, 2016, 112p.
[10] 山本 頼弥, 野口 靖浩, 小暮 悟, 山下 浩一, 小西 達裕, 伊東 幸宏. 場当たり的なデバッグを行ってしまう学習者に体系的デバッグ手順を指導する授業パッケージと学習支援システムの構築, 教育システム情報学会誌, vol.35, no.1, 2018, p.21-37.