

Reasoning Maps: a generally applicable method for characterizing hypothesis-testing behaviour

B. White

International Journal of Science Education, 2004, 26(14), 1715-1731

★ Introduction

◇ *Hypothesis testing*

- ▶ 仮説検証をどのように理解し、行っているのかを分析するテクニックが必要
- ▶ Reasoning Map
 - プロトコル分析に基づく，課題間，特徴間の比較が可能な仮説検証の特徴を示すテクニックの開発
- ▶ Carl Hempel (Hempel, 1966)
 - hypothesis 仮説
 - ・ 研究中の事象間に含まれる関係の推論
 - test テスト
 - ・ 'If conditions of kind C are realized, then an event of kind E will occur'
 - ・ Condition C の部分 = test implication
 - prediction 予測
 - ・ Event E の部分
 - result 結果
 - ・ さまざまな観測や，実験の結果
 - conclusion 結論
 - ・ どのように結果が test implication と不一致で棄却，一致して支持されるか

◇ *Connections between elements*

- ▶ Schauble et al. (1991)
 - Engineering model: 希望する結果が出るように変数の操作をする
 - Scientist model: より広い探索，証拠の解釈，原因ではない変数の発見を行う
- ▶ 変数の調整法の方略を調べる
(Kuhn and Phelps, 1982; Kuhn et al., 2000; Shute et al., 1989; Tschirgi 1980)
 - HOTAT (hold one thing at a time)
 - VOTAT (vary one thing at a time)
- ▶ Mynatt et al. (1978)

- 仮説の調整, 一時的な棄却, 棄却, 再テストと *confirmation, disconfirmation* の関係
 - ▶ 参加者の動きを図にする
 - *problem behaviour graph* (Newell & Simon, 1972)
 - *student procedure graphs* (Shute, et al., 1989)
 - フローチャート形式 (Schauble et al., 1992)
 - Toulmin (1958)の討論フレームを用いた仮説, テスト, 予測, 結果, 結論の流れの組織化 (Kelly et al., 1998)
 - ▶ Reasoning Map は主な特徴と尺度を包括するように試みる
 - これまでの分析が全て Reasoning Map 上で可能
 - 課題間での比較ができる
- ☆ *The Red and White, Yeast Labw*
- ▶ 課題として Red and White, Yeast Lab (RWYL) を用いる
 - 人工的に作り出されたイースト菌 (Figure 2)
 - 1週間で成長
 - 中央が赤でふちが白
 - ▶ 課題
 - なぜ中央が赤でふちが白なのか, できるだけたくさん見つける
 - ▶ 道具
 - 殺菌したようじ…イーストのサンプルをつかむのに利用
 - 培養液の入った皿…サンプルを成長させる



Figure 1. The biological phenomenon: a patch of an engineered strain of Bakers' Yeast grown for one week on solid medium; the patch has a red centre and a white edge.

- ▶ 3週間の研究室セッションを3人組で行う
- ▶ 1週目
 - イーストの生物学と道具に関する導入
 - 仮説を立て、テストをデザイン、実行（ラウンド1テスト）
- ▶ 2週目
 - 仮説と関連付けて、ラウンド1テストの結果について話し合う
 - 新しい仮説を立て、ラウンド2テストをデザインして実行
- ▶ 3週目
 - これまでの仮説と関連付けて、ラウンド1, 2テストの結果について話し合う
 - 結論へ到達

- ▶ いくつかの正しい発見がある
 - 不安定な遺伝要素（プラスミド）を含んでいると赤い
 - プラスミドは不安定なので、赤と白の子細胞に分裂する（成長段階で）
 - 白いセルのほうが成長が早い
 - 中央のほうが成長がゆっくり（集まっている、栄養が少ない）
⇒プラスミドを失う機会が少ない
- ▶ 学生は以下の正しい発見をすることができる
 - 赤と白は両方とも生きていて繁殖することができる
 - 赤は成長するといつも赤と白になる
 - 白は成長すると必ず白になる
 - 色は単に養分や廃棄物の堆積によるものではない
 - 白は赤より早く成長する

★ Method

☆ *Subjects*

- ▶ マサチューセッツ ボストン大学の General Biology I の学部生
- ▶ 50分の講義 × 3
 - 一度に 250人
- ▶ 3時間の研究セッション × 3
 - 約 20人ずつ 12のセクション
- ▶ 本研究ではそのうちの 1グループについて検討

◇ Procedure

- ▶ 映像と音声を記録
 - General format (Figure 2)

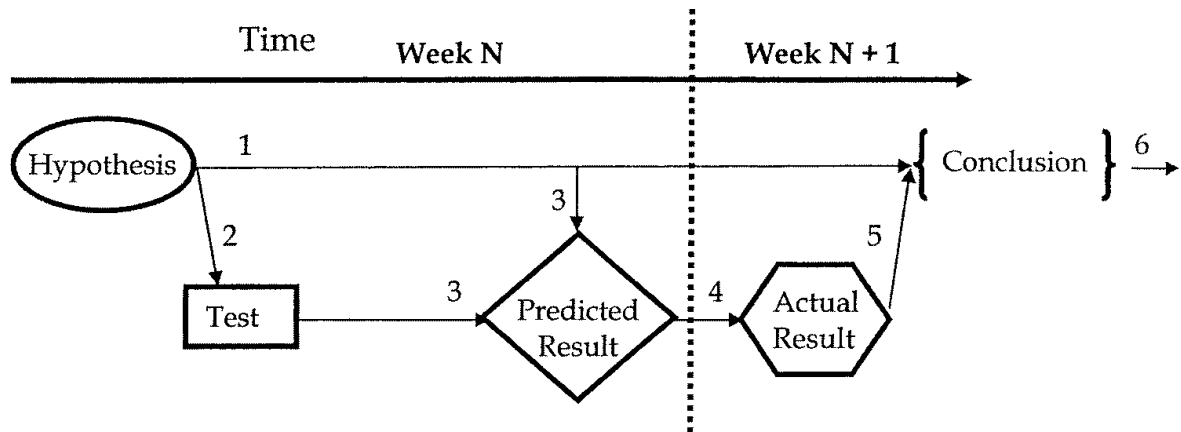


Figure 2. General form of a Reasoning Map.

- ▶ Canonical シークエンス (役立つベースラインとして)
 - Hypothesis
 - ・ 現象に関する説明やテスト可能な発言
 - Test
 - ・ 仮説から生み出される, 行うつもりの実験の描写
 - Prediction
 - ・ 仮説とテストの組み合わせにより生みだされる, 実験の結果を予測するもの
 - ・ 仮説と対応していないものにはアスタリスク
 - Results
 - ・ 一週間後に産出される (結果の) 皿を見て学生が言ったこと
 - ・ 観察が間違っていたらアスタリスク
 - Conclusion
 - ・ 結果と仮説から産出される
 - ・ フレーズと文脈から判断される

- ▶ 結論を特徴付ける 3 つの基準
 - Validity
 - ・ 実際の赤と白のプロセスと一致しているか
 - Consistency
 - ・ グループ内の利用可能なデータと一貫しているか (学生の視点から)

- Type
 - ・ 仮説を支持, 不支持, どちらでもない

☆ Results

- ▶ 結果 (Figure 3)
 - 4つのスレッドからなる

- ▶ 第1のスレッド
 - 仮説 1
 - ・ 白は養分を取って年をとると赤くなる (A1)
 - テスト → 予測
 - ・ 赤だけ → 白い輪になる (A3, B3)
 - ・ 白だけ → 赤くなる (A2, B2)
 - 結論
 - ・ (他の実験 (C5) の結果から) 棄却 結論#1 (A7)
 - ・ その後, テスト B5 の結果から支持 結論#4 (A9)
 - ・ 第3セッションで1週目の実験の結果を見て棄却 結論#5 (A13)
 - 他のスレッドのデータと組み合わせて結論を引き出す (B13)
 - ・ 白は赤くならないが, 赤は白くなる 結論#6

- ▶ 第2のスレッド
 - 仮説 2
 - ・ 赤は養分にアクセスしにくい (B1)
 - 予測のないテスト (C2)
 - 3つの結論
 - ・ 仮説 1 の棄却 結論#1 (A7)
 - ・ 仮説 2 の支持 結論#2 (B7)
 - ・ どの仮説にも基づかない結論 結論#3 (C7)
 - 結論#3 から新しい仮説 5 (C8)
 - ・ 赤は生きている
 - テスト (D9) → 予測 (C10)
 - ・ 正しかった場合と, そうでない場合を予測
 - 結論# 7 (C14) 赤は生きている

- ▶ 残りのスレッドには実験された仮説はない
 - 仮説 3 のテストについては話し合ったが、実行されなかった (D1)
 - ・ 白はそのエリアでのセルの数が多いほど赤くなる
 - 仮説 4 は結果の予測はされたが、テストが行われる前に棄却されている (D10)
 - ・ 赤は白より早く成長する

- ☆ *Characterizing individual moves made by the students*
 - ▶ それぞれのスレッドを各動きに分けて調べた
 - canonical / non-canonical
 - logical / illogical

- ☆ *Canonical and logical moves*
 - ▶ Figure 2 の流れに従った、論理的に正当なパターン
 - 仮説 → 予測 → テスト → 結果
 - ▶ 予測が実験間をまたぐことはほぼない
 - ▶ 他の仮説に基づく実験のデータにより、他の仮説を検証することもある

- ☆ *Canonical but illogical moves*
 - ▶ 標準的な流れだが、理論に間違いがある
 - ▶ 適切ではない結果の観察
 - データとあわない結論
 - 白だけから赤を観察している
 - ▶ 実験テクニックの欠如、間違っただ観測 → 間違っただ結論
 - 結論#4, #5, #6 はデータと一致しない

- ☆ *Non-canonical but logical moves*
 - ▶ 標準的な流れではないが、理論的に正当なパターン
 - ▶ ステップの省略
 - 結果のみによる結論 (#3, #6)
 - ▶ 動きの間の新規なつながり
 - 仮説をテストしない

◇ *No-canonical and illogical moves*

- ▶ 重要なエレメントの省略や無視
 - 仮説 3 は話し合いなしに棄却されている (C8)
 - red alone の結果は描写されているのに、仮説と関連づけられていない (A5)
 - 仮説 2 の予測をせずにテストしている
- ▶ 統制テストを行っていない
- ▶ データを体系立てて調べていない
 - 以前に棄却された仮説を支持する (結論#4, #1)
 - データと一致しない仮説を支持する (結論#6)
 - 同じ結果を非常に類似する 2 つの仮説の支持と棄却に利用している (結論#1, #2)

◇ *Conclusions the group reached*

- ▶ 7つの結論 (Table 1)
 - 4つはデータと一致した結論
 - 5つが妥当な結論

Table 1. Conclusions reached by RWYL

<i>Conclusion</i>		<i>Inconsistent with available data</i>	<i>Consistent with available data</i>
Valid	Type +	None	#7
	Type -	#1, #5	None
	Type NBH	#6	#3
Invalid	Type +	None	#2, #4
	Type -	None	None
	Type NBH	None	None

★ Discussion

◇ *Hypothesis testing in the RWY Lab*

- ▶ 仮説の生成, 実験デザイン, 結果の予測, データの収集, 結論の導出が可能
- ▶ 手続き, 論理的ミスを犯す
 - 立証された仮説の棄却 (Klahr, 2000)
 - 間違った実験結果の予測, 代替仮説や予測の欠如 (Lawson, 2002)
 - 反証の無視や曲解 (Kuhn et al., 2000)
- ▶ 統制実験を行ったり, VOTAT, HOTAT 方略には従わなかった

- 明らかな変数の定義がなかったから
- ▶ 新奇な2つのエラー
 - 結果を考察なしに終わらせる
 - 結論の導出のために、全てのデータを考慮しない

☆ *Applying our methods to other hypothesis-testing activities*

- ▶ Reasoning Map はより示唆に富む分析方法である
- ▶ Toulmin (1958) の討論フレームワークを用いた Kelly et al. (1998)
 - 仮説V; B8-C14 を Toulmin のフレームワークで示す (Figure 4)
 - ・ エレメント間の多くのリンクが失われている

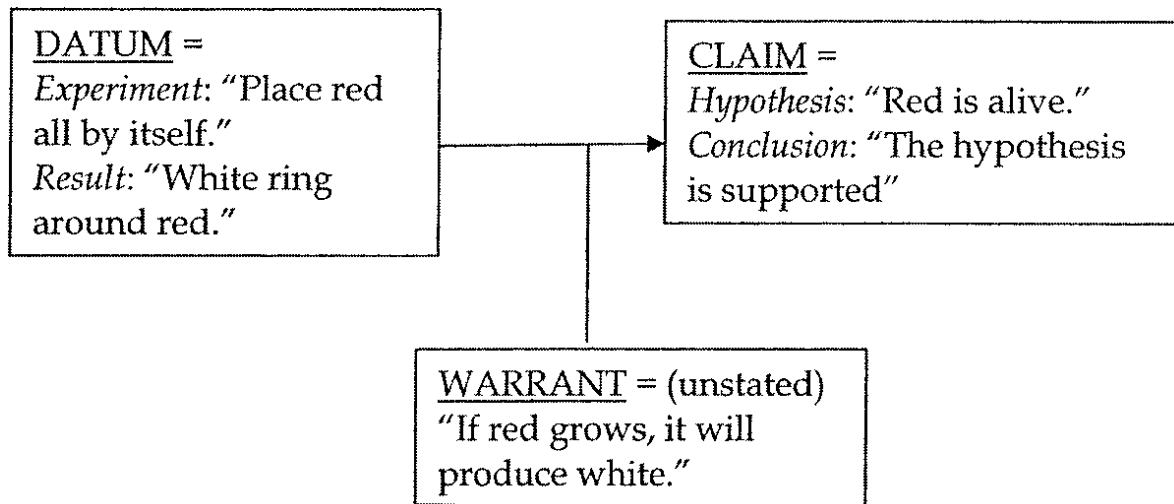


Figure 4. Part of a Reasoning Map expressed in Toulmin's format.

- ▶ 図的スキーマを用いたもの Shute et al. (1989)の Student Procedure Graphs
 - Problem Behaviour Graphs (Newell & Simon, 1972) に基づく
 - Action = test
 - State of knowledge = conclusion
 - その他のエレメントが抜け落ちている
 - 結果と結論が1対1対応
- ▶ Reasoning Map はより高位の側面を調べられる
 - 4つのタイプの特徴が分かる (canonical × logical)
 - 実験アプローチの違いや個人や、課題によるスタイルの違いが分かる
- ▶ Reasoning Map を Klahr (2000)に当てはめると (Figure 5)
 - 'RPT n'コマンドの機能を見つける

- ・ n ステップをもう一度繰り返す
- RWYL との違い
 - ・ 予測なしのテストの結果から正しい結論を導き出す
 - ・ = non-canonical & illogical
 - 結果が得られるまでの時間の違い
 - ・ 課題の違いと過程, 結果の違いを調べられる
- アプローチ

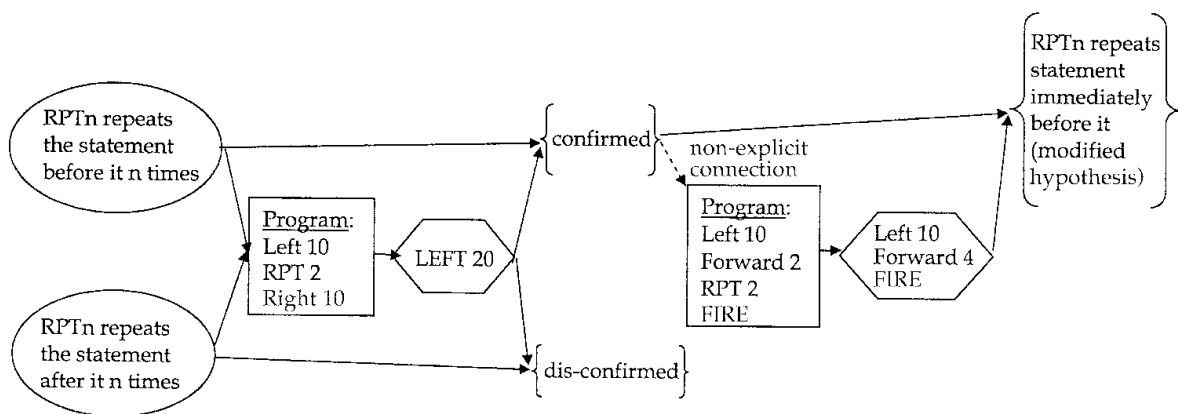


Figure 5. Reasoning Map of three minutes of transcript from Klahr (2000):
127). Dashed lines indicate non-explicit connections.

- ・ Klhar's: 2つの相反する仮説から1つの実験でどちらかに絞る
 - ・ RWYL: いろいろなスレッドで同時に検討する (仮説は相反しない)
- ▶ Reasoning Map は幅広い仮説検証状況に適用可能