

Relationship among team ability composition, team mental models, and team performance

Edwards, Bryan D., Day, Eric Anthony, Arthur, Winfred, Jr., & Bell, Suzanne T. (2006). Relationship among team ability composition, team mental models, and team performance. 91(3). p.p.727-736.

Introduction

- **メンタル・モデル (Mental Model)**
 - ◇ 概念とそれらを定義する特徴の既存の関係を反映できるパターンへ人々は情報を整理する (Johnson-Laird, 1983)
 - ◇ 従ってメンタル・モデルの測定には、宣言的知識のみならず、その知識についての組織された理解 (organized understanding) あるいはメンタル表象 (mental representation) が必要。(Cannon-Bowers, Salas, & Converse, 1993; Klimoski & Mohammed, 1994)

- **チーム・メンタル・モデル**
 - ◇ メンバー間に協同や支援、情報処理を促進、欠乏を分析できる指標 ;
 - ◇ チームのプロセス (コミュニケーション、衝突) パフォーマンスなど ;
 - ◇ 類似度指標 (similarity or sharedness) の測定
 - ✓ メンバー間のメンタルモデル、お互いに類似かオーバーラップか。
 - ◇ 正確さ指標 (accuracy) の測定
 - ✓ メンバー間のメンタルモデル、「正しい」メンタルモデルを表せるか。
 - ◇ 類似度指標と正確さ指標の比較に関する研究は少ない (Marks, Zaccaro, & Mathieu, 2000; Webber, Chen, Payne, Marsh, & Zaccaro, 2000)

Similarity and Accuracy of Team Mental Models

- **正確さ指標、関連研究欠乏 / 類似度指標に集中の可能な理由**
 - ◇ 過去研究の中心、関連文献が充実 ;
 - ✓ チームプロセス活動中、類似なメンタルモデルを形成することは、有効な、効率的なコミュニケーションや協同を達成するに極めて重大なプロセス。
 - ◇ 正確さを測定に困難あり ; 「正しい」に対する十分な認識が要り。
 - ✓ 特に過去の研究では主に意思決定 (decision making) など複数正解存在する可能性あるか正解不特定の課題を使用。
 - ✓ 一人のエキスパートのメンタルモデル使用
 - ✓ チームの概念マップ (concept maps) を評価者に採点させる (Marks et al., 2000) 複数正解存在する可能性を考えて、一人の評価者の採点のみ使用
 - ◇ 正確さの計算方法に疑問あり
 - ✓ メンタル・モデルに対する概念 / 定義は異なり (Webber et al., 2000) 使用した 17 質問はメンタル・モデルとの関連不明或いは代表性なし

■ 本研究

- ◇ メンタル・モデル、その類似度指標と正確さ指標の比較
 - ✓ Teamwork (他のメンバーは何をしているを回報する) と taskwork (shooting pillbox, hiding in forest) を混同に分析する (Marks et al., 2000) ではなく、taskwork を分析の中心に
- ◇ メンバー能力、チーム・メンタル・モデルの類似度が正確さとパフォーマンスの相関程度からパフォーマンスを予測するという視点を取る
- ◇ 単一正しい正解/ストラテジーのある課題を使用
 - ✓ 過去研究: 類似度指標は有効にパフォーマンスを予測できる; ただし類似といっても、間違っただメンタルモデルが生じた場合なら?
 - ✓ 質疑: (taskwork 種類により) 正確さ指標の予測力はより強いではないか? 仮説 2
 - ✓ (Acton, Johnson, & Goldsmith, 1994) より熟達になると、エキスパートのメンタルモデルにより近似になり、正確さも増える (当然類似度も増えると考えられる) 仮説 1 A / 仮説 1 B
 - ✓ メンタルモデルの正確さ余程重要になり エキスパートのメンタルモデルを「正しい」モノと見なす
- ◇ 縦系列 (longitudinal) 実験デザインを用い検証する
 - ✓ 過去研究の実験室で 1 から 3 時間で練習するのみに対し;
 - ✓ 長時間 (2 週間) 練習セッションと複数時点で評定値を取る。
 - ✓ 縦系列の類似度と正確性指標に影響を与えるかもしれない (Acton et al., 1994)

仮説 1 A The similarity of team mental models will increase over time.

仮説 1 B The accuracy of team mental models will increase over time.

仮説 2 The relationship between team mental model accuracy and team performance will be stronger than the relationship between team mental model similarity and team performance.

Team Ability Composition and Team Mental Models

■ Team ability composition

- ◇ より良いチームメンタル・モデルの生成を促すために、チームの組み合わせる方法が大事 (Mathieu et al., 2000)
- ◇ 個人差 (Kraiger & Wenzel, 1997) はメンタルモデルのシェアに一番重要な要因能力 (ability) は個人のメンタルモデルの正確さと相関するが、チームの能力やパフォーマンスとの関連についての研究欠乏。 仮説 3A / 仮説 3B

■ Team ability の定義

- ◇ 一般的にメンタル能力 (mental ability) は知識獲得によるパフォーマンスと関連あり (Ree, Carretta, & Teachout, 1995; Schmidt & Hunter, 1992)
- ◇ 従って team ability は、チーム・メンタル・モデルによりパフォーマンスに関連あると考えられる。

- ◇ 高いメンタル能力を持つメンバーのいるチームなら、より良いパフォーマンスを得られると考えられる。
- ◇ 高いメンタル能力 より正しいメンタル・モデル(自然によく類似する) より良いチーム・パフォーマンスと仮定し、異なる team ability の組み合わせを検証する (HH > HL > LL)。 仮説 4A / 仮説 4B

仮説 3 A The mental models of HH teams will be more similar than the models of HL teams, which in turn, will be more similar than the models of LL teams.

仮説 3 B The mental models of HH teams will be more accurate than the models of HL teams, which in turn, will be more accurate than the models of LL teams.

仮説 4 A The similarity of team mental models will mediate the relationship between team ability composition and team performance.

仮説 4 B The accuracy of team mental models will mediate the relationship between team ability composition and team performance.

Method

■ Participants

- ◇ Texas A&M University & its community の 1266 名男性ボランティア中から、右利きの人に限り (設備数の制限) メンタル能力を判別する用の APM テスト (Raven, Raven, & Court, 1998) を受けさせた。
- ◇ 大学生サンプル (N = 496) により、メンタル能力を分類する
 - ✓ L - 得点 21 とそれ以下
 - ✓ H - 得点 27 とそれ以上
 - ✓ 合計 194 名参加者を選出
- ◇ 途中実験未完成の被験者 28 名 (減少率 14%) ですが、²検定結果では、3 つレベルの有意差なしと確認した; 最終的に 168 名被験者をペアーで 83 組 (30HH, 31HL, 22LL) になりました; 平均 19.62 才 (SD=2.30)。
- ◇ 各被験者に謝礼 \$75、パフォーマンス top3 に入ったペアーなら、各メンバーにボーナス \$50、\$30、\$20 を差し上げる。

■ Measures

- ◇ Raven's APM: 一般的メンタル能力を測定
 - ✓ 36 問題、難度順 (易い 難しい) に並べ、8 選択肢から 1 つの正解
 - ✓ 刺激は非言語及び特定知識は要らない (Saccuzzo & Johnson, 1995)
 - ✓ 40 分バージョン使用;
 - ✓ Spearman-Brown odd-even split-half reliability of 0.84

- ◇ Space Fortress : taskwork パフォーマンス課題
 - ✓ 実験のために開発された (Donchin, 1989; Mane & Donchin, 1989)
 - ✓ ダイナミック、複雑な飛行シミュレーションゲーム ;
 - ✓ 短期記憶、長期記憶、高い認知負荷、ダイナミック注意配分、意思決定、手動操作など情報処理プロセス (Gopher, Weil, & Siegel, 1989)

- ◇ Pathfinder : メンタル・モデル (類似度、正確さ)
 - ✓ メンタル・モデルと見なせる 概念類似度マップ を生成して評価する用技術 (Schvaneveldt, 1990; Schvaneveldt, Durso, & Dearholt, 1989)
 - ✓ 関連度評定値 をグラフ化 ; 概念間の局所的 (local) 関係を表現する ;
 - ✓ パラメーター r と q によりネットワークの距離計算、密度を決める ;
 - ✓ 定量化、比較することができる
 - ✓ 本研究 $r = \text{infinity}$; $q = \text{概念 / 節点 (node) の数} - 1$

- ◇ 14 Space Fortress concepts (Frederiksen & White, 1989) (Table 1 参照)
 - ✓ 2 項目の間に関連度評定に 2 つの可能な基準
 - ✓ Share common features
 - ✓ Frequently occur together
 - ✓ 14 項目全て taskwork と関連あると考え、実験中の経験により評定
 - ✓ 9 点尺度 (全く相関なし 1 - 非常に相関あり 9)
 - ✓ 全 91 組 (14*13/2) 関連を評価してもらい

- ◇ taskwork 目標 : 最大ゲーム得点
 - ✓ 要塞を破壊する
 - ✓ 機雷を発射する
 - ✓ 自分の宇宙船の損傷を避ける

- Pathfinder metric of closeness(C) = 2 つのネットワークにある共通リンク数を、2 つのネットワークの総リンク数で割った比率。
 - ◇ 類似度 (min 0 - max 1)
 - ✓ チームメンバー 2 人のメンタル・モデルの類似する程度。
 - ✓ メンバー 2 人のネットワークより C 値を求める
 - ◇ 正確さ (min 0 - max 1)
 - ✓ 被験者メンタルモデルのエキスパートのモデルとの重なる程度 (the degree of overlap between trainee mental models and an expert referent model)
 - ✓ エキスパートとメンバー 2 人それぞれの C 値の平均
 - ◇ エキスパートのモデル
 - ✓ 3 人エキスパートの平均モデルを得た
 - ✓ C 値の平均 0.49 (.46 / .58 / .44)
 - ✓ 単一エキスパートよりパフォーマンスとの相関が高い (Acton et al., 1994; Day et al., 2001)

Design and Procedure

	Mon.	Tue.	Wed.	Thu.	Fri.
1 週 目	20min.教示 3 min.練習 5 min.教示	Session1 Time1	Session2	Session3 Time2	Session4
2 週 目	Session5 Session6	Session7	Session8	Session9 Time3	Session10 Session11

- 各セッション
 - ◇ 練習課題 game 6 回と本課題 game 2 回
 - ◇ 1 回課題 game 約 3 min.
 - ◇ メンバー間のコミュニケーションは促された
 - ◇ 約 1 時間を費やした；次の日も同一時間の 1 時間に
 - ◇ 本課題 game 2 回全部得点の平均を取る
- 毎回終了後メンバーの操作、左手 / 右手を交換する
 - ◇ 左手で mouse の機能（機雷と爆弾）を操作 メンバー A
 - ◇ 右手で joystick と trigger の機能（操縦と射撃）を操作 メンバー B

Results

- Relationship Between Similarity and Accuracy (Table 2 参照)
 - ◇ 類似度と正確さの相関
 - ✓ Time1 ($r=.61$, $p<.01$, 95%CI=.45 to.73)
 - ✓ Time2 ($r=.67$, $p<.01$, 95%CI=.53 to.77)
 - ✓ Time1 と Time2 は共に高い相関、有意差あり
 - ◇ Time1 から Time2 へ
 - ✓ 類似度は(.33 .35)高くなったが、有意差なし($t(82)=1.80$, $p=.09$, $d=0.17$)
 - ✓ 正確さは(.34 .35)高くなったが、有意差なし($t(82)=1.56$, $p=.12$, $d=0.12$)
 - ✓ 仮説 1 A と 仮説 1 B は棄却された
- Comparative Criterion-Related Validity of Similarity and Accuracy
 - ◇ taskwork 1 1 セッションのパフォーマンス及びパフォーマンスとチーム・メンタル・モデルの相関 (Table 3 ; Fig. 1 参照)
 - ✓ Time1 と Time2 共に、正確さとチーム・メンタル・モデルの相関はより強い 類似度とチーム・メンタル・モデルの相関は時間より衰える
 - ✓ 仮説 2 は保留された
 - ◇ Time3 データの損失で、パフォーマンスの平均を用いて相関検定を行った
 - ✓ チームパフォーマンス良くなり、有意差あった ($t(82)=20.61$, $p<.01$, $d=2.22$) が、全体的に相関 ($r=.89$) は高いため

- ◇ (Table 2) の結果
 - ✓ 正確さとパフォーマンスの相関
 - Time1 ($r=.34$, $p<.01$, 95%CI=.13 to.52)
 - Time2 ($r=.46$, $p<.01$, 95%CI=.27 to.61)
 - ✓ 類似度とパフォーマンスの相関
 - Time1 ($r=.26$, $p<.05$, 95%CI=.05 to.45)
 - Time2 ($r=.27$, $p<.01$, 95%CI=.06 to.46)
 - ✓ 結果は (Fig. 1) と一致: 正確さとパフォーマンスの相関はより強い

- ◇ 類似度と正確さのチームパフォーマンスへの予測力
 - ✓ 階層的回帰分析 (Table 4)
 - ✓ team ability : 22%
 - ✓ Time1
 - 正確さ ($R^2=.11$, ns)
 - 類似度 ($R^2=.02$, ns)
 - ✓ Time2
 - 正確さ ($R^2=.07$, $p<.01$): チームメンバー能力や類似度より強い
 - 類似度 ($R^2=.01$, ns)

■ Team Ability, Mental Models, and Team Performance

- ◇ 3 つレベル team ability の類似度及び正確さ (Table 5)
 - ✓ 類似度と正確さは team ability により異なり

 - ✓ 類似度の 3 (team ability) \times 2 (Time1/Time2) ANOVA 結果
 - team ability に主効果あり ($F(2, 80)=3.98$, $p<.05$, $\eta^2=.09$)¹
 - 評価時間に主効果なし ($F(1, 80)=1.79$, ns, $\eta^2=.00$)
 - 交互作用あり ($F(2, 80)=3.22$, $p<.05$, $\eta^2=.02$)
 - ✓ 類似度の一対比較法²の結果
 - Time2、HH-LL ($t(50)=3.70$, $p<.01$, $d=0.96$) 有意差あり
 - Time2、HL-LL ($t(51)=2.34$, $p<.05$, $d=0.58$) 有意差あり
 - Time2、HH-HL ($t(59)=1.28$, ns, $d=0.35$) 有意差なし
 - Time1 のメンタル・モデル類似度は team ability より異なりませんが、より多く練習すると変わる; HH と HL は LL より類似的なメンタル・モデルを生成する。

 - ✓ 正確さの 3 (team ability) \times 2 (Time1/Time2) ANOVA 結果
 - team ability に主効果あり ($F(2, 80)=13.09$, $p<.01$, $\eta^2=.32$)
 - 評価時間に主効果なし ($F(1, 80)=2.37$, ns, $\eta^2=.00$)
 - 交互作用なし ($F(2, 80)=0.44$, ns, $\eta^2=.00$)

¹ 分散分析において、グループの違いによって変数を説明できる割合を η^2 (イータ 2 乗) という。 η^2 は 0 から 1 までの値をとり、値が大きいほど説明できる割合が高い。

² 一対比較法 (paired comparison) とは np 個の刺激から 2 個を取り出し、2 件法にて大小 (好悪) の判断を行う。組み合わせの総数は ${}_{np}C_2=np(np-1)/2$ 、判断の反復数は ns である。

- ✓ 正確さの対比較法の結果
 - Time 1、HH-LL ($t(50)=3.94$ 、 $p<.01$ 、 $d=1.08$) 有意差あり
 - Time 1、HL-LL ($t(51)=2.54$ 、 $p<.01$ 、 $d=0.73$) 有意差あり
 - Time 1、HH-HL ($t(59)=1.91$ 、 $p<.05$ 、 $d=0.46$) 有意差あり
 - Time2、HH-LL ($t(50)=4.36$ 、 $p<.01$ 、 $d=1.138$) 有意差あり
 - Time2、HL-LL ($t(51)=2.31$ 、 $p<.05$ 、 $d=0.54$) 有意差あり
 - Time2、HH-HL ($t(59)=2.62$ 、 $p<.01$ 、 $d=0.67$) 有意差あり
- ✓ **仮説 3 A**と**仮説 3 B**は保留された

- ◇ メンタル・モデル(の類似度や正確さ)のパフォーマンスへの影響(mediation)
 - ✓ (Baron & Kenny, 1986) の計算方法、Time2 のデータ使用
 - ✓ 類似度
 - Table 4 の Model 3 参照 ($\beta=.47$ / $\beta=.42$)
 - **仮説 4 A**は保留されたが、
 - Sobel(1982)検定結果より(significant different from 0、 $t(81)=1.09$ 、 ns ; indirect effect=88.83%、95%CI= -70.67to248.34) **仮説 4 A**は棄却される
 - ✓ 正確さ
 - Table 4 の Model 4 参照 ($\beta=.47$ / $\beta=.32$)
 - (significant different from 0 ; $t(81)=2.43$ 、 $p<.05$ 、indirect effect=284.40、95%CI=54.75to514.04)
 - **仮説 4 B**は保留された
 - メンタル・モデルの正確さは部分的に (partially) チーム能力とチームパフォーマンスに介在する (mediate)

Discussion

- 本研究：縦系列実験デザイン、類似度と正確さの予測力の比較
 - ◇ これまでの研究はチーム・メンタル・モデルの類似度を強調。
 - ◇ チーム・メンタル・モデルは複雑なスキル習得とチームパフォーマンス予測に重要な役割を果たすことを支持する (Marks et al., 2000; Mathieu et al., 2000)
- 類似度と正確さは強い相関有り
 - ◇ 類似度と正確さはそれぞれ時間より増えません
 - ◇ Taskwork (練習) 長時間の場合、正確さの予測力はより高い ;
 - ◇ 短時間の場合、先行研究と類似な結果。
 - ◇ 単一正しい正解 / ストラテジーのある taskwork 課題を使用 (teamwork なし)
 - ◇ 類似度の予測力はより高い : 意思決定課題、3 時間練習 (Marks et al., 2000)
- Team ability、チーム・メンタル・モデルとパフォーマンスの相関
 - ◇ チーム・メンタル・モデルの類似度と正確さは team ability と高い相関有り
 - ◇ 特に team ability と正確さの相関は (類似度との) より高い
 - ◇ team ability メンタル・モデルの正確さ パフォーマンス。
 - ◇ teamwork の予測に関して未検討 (taskwork 正確さ ; teamwork 類似度 ?)
(本研究の 2人ペアーのチームは一時的に結成したもの)