

令和 2 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16H03131

研究課題名（和文）チーム協調支援のためのチームレジリエンス指標・推定モデルの開発

研究課題名（英文）Study on resilience indicators for team cooperation support

研究代表者

菅野 太郎（Kanno, Taro）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・准教授

研究者番号：60436524

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：チーム協調における状況適応行動に焦点を当て、状況変化に対応するチーム協調プロセスを監視、評価するための指標（レジリエンス指標）とその推定方法に関する研究、および関連する基盤技術開発を行った。具体的には、状況変化を記述・形式化するためのコンテキストモデル（T2P）の開発、画像認識とステレオマッチングによるチーム行動の自動追跡手法の開発、コンテキストモデルに基づくレジリエンス分析・評価のための参加者実験の設計法、レジリエンス分析・評価のためのシミュレータを用いた認知実験環境を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒューマンファクタやヒトを含むシステムに関する研究において、状況依存性の扱いは科学的研究を進める上で大きな課題の一つである。本研究で提案・開発したチームコンテキストモデルは、状況とその特徴の網羅的に捉え、その形式を提供する点において学術的意義は大きい。また、チームレジリエンスの理解とその向上への社会的要請は大きい。本研究の成果はそのために必要となる知識・技術基盤であり、社会的課題の解決に対する一定の貢献を示すことができた。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to develop indicators to monitor and evaluate the adaptiveness of team cooperative behavior to situational changes and variances. For this purpose, firstly, we proposed a team context modeling framework that describes and formalizes various situations and their changes. Then we developed a method for tracing team behavior by integrating image processing and stereo-matching techniques. Based on the team context model, we designed and conducted team experiments for resilience assessment. In addition, we developed an experimental platform to examine resilient decision-making and response using a computer simulation.

研究分野：認知システム工学

キーワード：チームレジリエンス コンテキストモデル チーム協調

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

航空交通業務などの高度な安全が求められる業務の安全対策は、これまで事故・インシデントの発生予測とそれに対する多重防護に拠ってきた (Safety-I)。一方、近年、事故・インシデントは人 - 人工物 環境の複雑動的な相互作用の結果として生じる創発現象であるため個別事象を網羅的に予測し事前対策を講じることが困難なことから、Safety-I の限界が指摘されるようになった。さらなる安全向上のためには、業務現場において人間が様々な状況に実際にどのように適応的に行動し、業務を行っているのかを理解し、それを支援・強化することが重要であると指摘されている (Safety-II)。しかしながら、Safety-II 研究は、提案されてから未だ日が浅く、具体的研究方法が模索されているのが現状であった。特に、Safety-II に関連する当初のヒューマンファクタ研究は、その多くが優良事例の記述的研究にとどまっており、チームの適応力を支援・強化する具体的方法やそれを導くために必要な認知行動のメカニズムの深い理解や知見、そのような知見獲得のための研究方法が不十分であった。

2. 研究の目的

以上のような背景のもと、本研究では、特にチーム協調における状況適応行動に焦点を当て、状況変化に対応するチーム協調プロセスを監視、評価するための指標 (レジリエンス指標) とその推定方法、および関連する基盤技術開発を当初の目的とした。関連基盤技術開発として、状況変化を記述・形式化するための、コンテキストモデルの開発、行動データの自動収集法の開発、コンテキストモデルに基づく参加者実験の設計、シミュレータを用いた認知実験環境の開発に取り組んだ。

3. 研究の方法

(1) 実験コンテキスト・条件の形式化: 組織構造モデルの PCANS を参考に、チームコンテキストをシステムモデルとして形式化することにした。コンテキストを構成する主要要素を、関連研究のレビューおよびディスカッションによって整理した。特に、移動を伴う作業を想定し、「場所」を要素として追加した。チームコンテキストの特徴を整理した主要要素の特性と要素間の関連性の観点から整理することによって、コンテキストモデルの構築を行った。

(2) 行動データ収集方法の開発: 複数人の移動軌跡を収集する方法の開発を行った。当初、Kinect の画像認識機能 (骨格フレーム検出、深度計測) や Bluetooth Beacon (電波減衰による測位) 等を用いた手法を試みたが、追跡精度や開発効率の観点から、最終的に複数カメラを用いた画像認識による行動追跡システムを開発した。具体的には、RaspberryPi のカメラモジュールを用いたカメラ画像のステレオマッチングによる位置測位と深層学習を用いた物体検出システムの Yolo v3 による人物検出・認識を組み合わせることで複数人の行動追跡を実現した。システム構成を図 1 に示す。

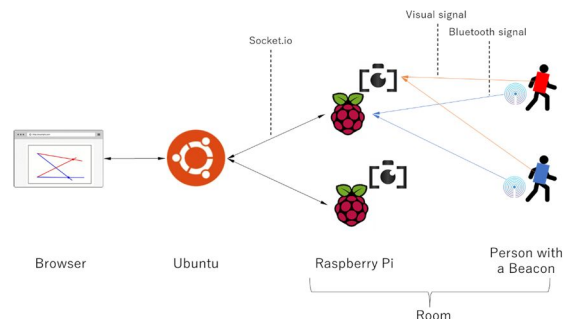


図 1 システム構成

(3) 状況変化に対する認知行動分析 1: 状況変化に対する行動変化を観察・分析するために実験室における参加者実験を設計した。3 つの異なる実験課題・条件 (マシュマロチャレンジ: 1. 指示無、2. 指示有、3. キッチンタスク) を設定し、開発したチームコンテキストモデルを用いて形式化した。また、コンテキスト要素とそれらの関係性における量的・質的特徴指標 (コンテキスト類似指標) を整理・設定し、コンテキスト間の類似性評価を行った。実験中のビデオ録画によって行動・発話の記録を行った。実験後は、個人ワークロード、チームワークロードの主観的評価を行った。また収集した行動・発話分析を行った。

(4) 状況変化に対応する認知行動分析 2: 状況変化に対する行動変化を観察・分析するためのシミュレータを用いた実験環境の開発とそれを用いた参加者実験を行った。レジリエンス行動を観察するために必要なシミュレータ要件を整理・検討し、市街地火災の消化活動における現地指揮タスクをモデルに PC 上で非専門家でも容易に扱える簡易シミュレータを開発した。参加者実験では、状況変化の異なる複数のシナリオにおいて、参加者の行動 (シミュレータでの操作) と最終的なタスクパフォーマンスを分析・評価した。

4. 研究成果

(1) 「Team」「Task」「Place」の 3 主要素とその属性、それらの関係性によってコンテキストを記述するチームコンテキストモデル (T2P モデル) を提案した [1]。また、モデル要素ごとにコンテキストの特徴 (類似) 指標を整理、定義した。これらの指標は事前に把握可能な指標 (予述的指標) と観察から把握可能な指標 (記述的指標) の 2 種類に分けて整理した。このような特徴指標は異なるコンテキストの類似性を評価する指標にもなる。特徴指標の例として表 1 に「Team」

に関連する特徴指標を、図 2 に T2P モデルの概念図をそれぞれ示す。

表 1 「Team」の特徴指標（例）

区分	類似因子	説明・計算方法	値
Team 関連	Quantity	Member の数	N
	Existence of leader	リーダーが存在するか否か	あり,なし
	Communicability	直接会話グラフの平均次数/(N-1)	[0, 1]
		間接会話グラフの平均次数/(N-1)	[0, 1]
	Acquaintance	知り合いグラフの平均次数/(N-1)	[0, 1]
	Depth of hierarchy	指令系統グラフの最短経路長の最大値	N
Commandability	指令系統グラフの平均次数/(N-1)	[0, 1]	

(2) Yolo v3 (106 層, 80 識別クラス) とステレオマッチングを用いた画像認識による人物特定結果例を図 3 に、カメラ測位による行動軌跡を図 4 に示す。図 3 より正しく人物判定ができていることがわかる。Yolo Tiny 版を用いた場合、ノート PC で 0.8sec での人物判定が可能であった。GPU 搭載 PC を用いることでより高速な画像処理が期待できるため、リアルタイム追跡が可能になることが期待できる。図 4 では点線が実際の移動を、青点がカメラ測位による推定位置を示している。図 4 より、十分な精度で行動を自動追跡できることが分かる。

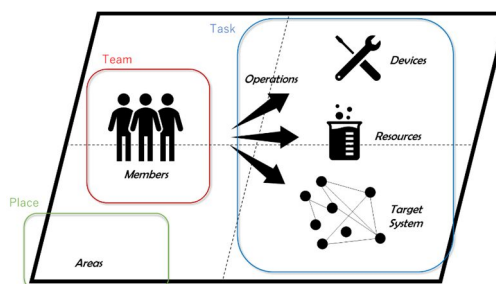


図 2 T2P モデルの概念図

(3) 3 人組のチーム (3 人 × 10 組) による 3 種類の課題を行う参加者実験を行い、認知行動データの分析を行った[2]。当初計画した適応的認知行動の特徴指標の発見、完成には至らなかったが、それぞれの課題の予述的特徴と実験で得られた記述的特徴を比較分析することで、予述的特徴(形式化されたコンテキストの特徴)によって記述的特徴(実際の認知行動の特徴)がある程度予測可能であることがわかった。このことは、開発したコンテキストモデルによってコンテキストの特徴を詳細に捉えることが可能であること、また、課題遂行中の認知行動において提案した記述的特徴に着目することが有効であることを示唆している。例えば、目的の明瞭さ (clarity) は、チームメンバー間の共通認識の必要性やコミュニケーションの必要性と相関があることや、目的の競合度合と知覚的負荷の間に相関があることが示された。すなわち、目的の明瞭さが変化するような変動・外乱は、コミュニケーション頻度の変化によって検出可能であることや、目的の競合が生じた場合は知覚行動の変化によって検出可能であることが示唆される。このほかにも、課題における操作対象の挙動の変化が主観的なフラストレーションと相関することも示された。フラストレーションと相関のある生理的指標を監視することで、対象挙動の変化・変動の推定が可能であることも示唆される。

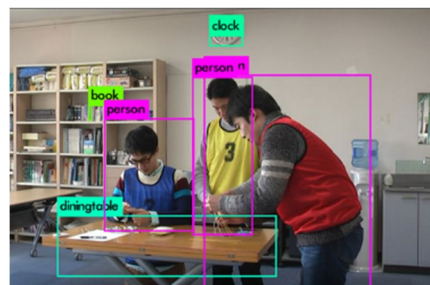


図 3 画像認識による人物判定

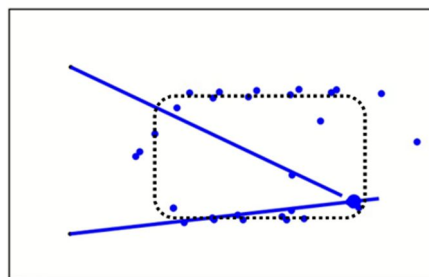


図 4 カメラ測位の軌跡

(4) 開発した簡易シミュレータ (消火指揮タスク) を用いた参加者実験 (20 名) を実施し、各参加者の課題達成度と課題遂行中のイベント発生への応答時間、リソース管理、延焼防止 (時間の確保) の 3 つの指標との関係性を分析した[3]。課題達成度の高い群と低い群で、これらの指標に差があることが確認された。また、実験後のアンケート・インタビューでこれらの差が生じた理由を認知的観点から分析することが可能であることが分かった。以上から、開発したシミュレータがオペレータのレジリエンスに関する基礎的な実験研究用シミュレータとして有効であることが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kanno Taro, Mitsuhashi Daichi, Inoue Satoru, Karikawa Daisuke, Nonose Kohei	4. 巻 NA
2. 論文標題 Formalization and Quantification of Team Contexts for Meso-cognitive Studies	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. 1st. Int'l Conf. on Human Systems Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 838 ~ 844
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-02053-8_127	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 岩淵由華、狩川大輔、青山久枝	4. 巻 20
2. 論文標題 レジリエンスの4つのコア能力に基づく航空管制業務の分析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ヒューマンインタフェース学会研究報告集	6. 最初と最後の頁 21-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 澤田大輔、狩川大輔	4. 巻 NA
2. 論文標題 オペレータの経験がレジリエンスに与える影響のに関する基礎研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ヒューマンインタフェースシンポジウム2018論文集	6. 最初と最後の頁 247-252
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 狩川大輔、澤田大輔、高橋誠	4. 巻 21
2. 論文標題 簡易シミュレーション環境を用いたレジリエンスに関する実験研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ヒューマンインタフェース学会論文誌	6. 最初と最後の頁 155-168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kanno T., Inoue S., Karikawa D., and Chao D.	4. 巻 NA
2. 論文標題 Modeling Framework of Team Contexts for the Design of Laboratory Experiments and Team Training	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. Int'l Conf. Applied Human Factors and Ergonomics (Advances in Human Error, Reliability, Resilience, and Performance)	6. 最初と最後の頁 155-161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/978-3-319-60645-3_15	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshida H., Aoyama H., Inoue S., Kanno T.	4. 巻 NA
2. 論文標題 Analyzing Positive and Negative Effects of Salience in Air Traffic Control Tasks	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. Int'l Conf. Applied Human Factors and Ergonomics (Advances in Human Aspects of Transportation)	6. 最初と最後の頁 70-78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1_7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chao D., Kanno T., and Furuta K.	4. 巻 NA
2. 論文標題 Routine, Team Composition, and Resilience	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. Int'l Conf. Applied Human Factors and Ergonomics	6. 最初と最後の頁 1504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 狩川大輔、青山久枝、高橋信	4. 巻 NA
2. 論文標題 航空管制業務をモデルとしたレジリエンス分析・評価のための実験用タスクの検討	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ヒューマンインタフェースシンポジウム2017論文集	6. 最初と最後の頁 223-226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mahardhika Dipta, Taro Kanno	4. 巻 LNCS9747
2. 論文標題 Group Level Versus Society Level of Computing	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proc. Int'l Conf. on Human Computer Interaction International	6. 最初と最後の頁 343-350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 菅野太郎	4. 巻 NA
2. 論文標題 Safety-IIの諸相	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 日本人間工学会第57回大会講演集	6. 最初と最後の頁 50-51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Kanno T.
2. 発表標題 Formalization and Quantification of Team Contexts for Meso-cognitive Studies
3. 学会等名 Int'l Conf. on Human Systems Engineering and Design
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Inouse S.
2. 発表標題 Task Analysis based on User Centered Approach for Designing the Remote Aerodrome Flight Information Service System
3. 学会等名 Int'l Conf. on Human Systems Engineering and Design
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩淵由華
2. 発表標題 レジリエンスの4つのコア能力に基づく航空路管制業務の分析
3. 学会等名 ヒューマンインタフェース学会研究会報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 澤田大輔
2. 発表標題 オペレータの経験がレジリエンスに与える影響に関する基礎研究
3. 学会等名 ヒューマンインタフェースシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yojima S.
2. 発表標題 Simulation and Experiment of Team Communication and dShared Situation Awareness
3. 学会等名 Int'l Conf. System Modeling and Optimization
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kanno T.
2. 発表標題 Modeling Framework of Team Contexts for the Design of Laboratory Experiments and Team Training
3. 学会等名 Int'l Conf. Applied Human Factors and Ergonomics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshida H.
2. 発表標題 Analyzing Positive and Negative Effects of Saliency in Air Traffic Control Tasks
3. 学会等名 Int'l Conf. Applied Human Factors and Ergonomics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Chao D.
2. 発表標題 Routine, Team Composition, and Resilience
3. 学会等名 Int'l Conf. Applied Human Factors and Ergonomics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 狩川大輔
2. 発表標題 航空管制業務をモデルとしたレジリエンス分析・評価のための実験用タスクの検討
3. 学会等名 ヒューマンインタフェースシンポジウム2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Inoue S.
2. 発表標題 Designing the Remote Aerodrome Flight Information Service Systems Interface base on Human Centred Design Approach
3. 学会等名 Int'l Conf. on Applied Human Factors and Ergonomics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Mahardhika Dipta
2. 発表標題 Group Level Versus Society Level of Computing
3. 学会等名 Int'l Conf. on Human Computer Interaction International (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 菅野太郎
2. 発表標題 Safety-IIの諸相
3. 学会等名 日本人間工学会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	狩川 大輔 (Karikawa Daisuke) (40436100)	東北大学・工学研究科・准教授 (11301)	
研究分担者	井上 諭 (Inoue Satoru) (40517471)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・電子航法研究所・研究員 (82627)	
研究分担者	野々瀬 晃平 (Nonose Kohei) (20644496)	一般財団法人電力中央研究所・原子力技術研究所・研究員 (82641)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	晁 丁丁 (Chao Dingding) (50724556)	東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・助教 (12601)	