

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 14 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22500120

研究課題名（和文） 望ましい交通流の実現に向けた情報ダイナミクスの解析と設計

研究課題名（英文） Analysis and Design of Information Dynamics and Information Dissemination To Realize Optimal Management of Transportation

研究代表者

荒井 幸代 (ARAI SACHIYO)

千葉大学大学院工学研究科・准教授

研究者番号：10372575

研究成果の概要（和文）：

情報提供が人間の意思決定戦略を変化させ、交通流に大きな影響を与えることを示し、これを改善する方法を提案した。具体的成果は3つに大別される。1) 不完全情報下で運転者の経路選択モデルの提案、2) 1)のモデルが大域的な交通流に与える影響の検証、および、3) 実世界データを用いた1)2)の妥当性検証である。交通網変化時の過渡現象の混乱から収束の様子を再現し、東北地方太平洋沖地震後に東京都で取得されたタクシープローブデータを分析し、利用者均衡配分によってリンク交通量を予測し運転者の経路選択行動に関する分析も実施した。

研究成果の概要（英文）：

We have been concerned with the desirable mode of information services to control the behavior of a transportation network system. The difficulty of this problem is that optimal traffic assignment is not always satisfied with minimal travel time of each driver. Consequently, this study is an attempt to ascertain how to reconcile these two conflicting viewpoints. Most previous studies emphasized the driver's decision making processes to resolve this paradox. We specifically examined the information services side to make traffic flow desirable. First, we adopt a reinforcement learning framework to acquire a strategy for solving the paradox. Secondly, we show the criteria of information distribution to realize a desirable traffic flow through some experimentation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：知能情報学

キーワード：知的システムアーキテクチャ, マルチエージェント, 戦略的意思決定, 強化学習

1. 研究開始当初の背景

高度道路交通システムの整備によって道路状況に関する情報がリアルタイムで提供

される。しかし、この情報をどう活用するかについては、運転者側に委ねられてきた。

交通流に関する研究は国内外、様々な分野

で展開されている(表 1).

表 1: 既存研究の分類

交通流の構成要素	(a) 要素の特性を所与：現象の観察	(b) 望ましい現象(目標)を所与：要素の設計
I. 場の構造(道路網)	土木分野 交通現象分析	交通計画 OR分野 ロジスティクス
II. 運転者(物)の意思(動作)決定規範	複雑系 認知科学 知能情報分野	人工生物学分野 代謝工学
III. 相互作用の構造(情報網)	未開拓	未開拓

土木工学分野では、交通工学、交通計画、交通現象分析、道路基盤から人間心理や行動分析まで広く網羅し、道路交通に関する政策や防災計画の根拠となる知見が蓄積されている[表 1: I, II-(a)が中心, 交通計画研究は I-(a)].

知能情報学分野では特に海外において自動運転による大陸横断実験に力を入れており、運転者の認知的側面から意思決定規範の設計法が注目されている[表 1: I, II-(b)が中心].

システム工学やオペレーションズリサーチ分野では、ネットワーク上の流れを包括的に扱う枠組みとしてロジスティクス研究が活発で、流れを最適にするための数的手法が提案されている[表 1: I, II-(b)が中心].

さらに、国内にて渋滞学と名付けられ^[1] I, IIの統合的視点から渋滞を解析し、渋滞を再現するモデルが次々に提案され注目を集めている。ここでは意思決定主体が比較的単純なルールで行動を出力するセルオートマトンを用いた流れの数学的解析や、アリの行動のアナロジーからの系全体の挙動を創発する実験も示されている[表 1: I II-(a)が中心, III-(b)は進行中と思われる].

以上の既存研究によって I IIの要素を所与とした時の創発現象は蓄積されている。一方、(創発の逆向きの視点;) 望ましい現象に向けた「要素の設計」は、シミュレーションを用いた「設計-観察-評価」のサイクルによって実現されているのが現状で、目標を志向した設計の方法論については十分に確立されているとはいえない状況である。特に、個々人の意思決定と、物流との相互作用の解析の必要であった。望ましい相互作用に導く設計論の必要性が指摘されている。

2. 研究の目的

本研究では、リアルタイムでの情報提供が可能な状況で、これを受ける側の人間がこれらの情報をどう活用して行動するのか？ また、この行動によって人の流れ、物流をどう変化させるのかを知るによって、災害時の避難、交通渋滞の緩和に向けた情報提供

の方法論を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

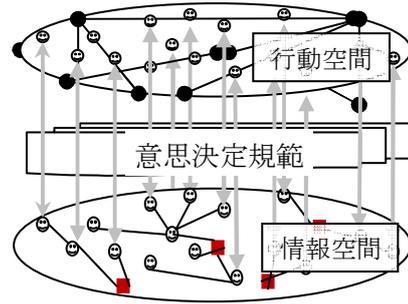


図 1: 交通流の制御対象

高度道路交通システムの下では、系全体の状況を、意思決定者が入手することが可能であるため、図 1 に示す物理的なネットワーク構造とその上を流れる物(意思決定主体)の関係に加え、本研究では仮想的な繋がりである情報ネットワーク構造を交通流の制御対象とする。

申請者らは、情報空間のネットワーク構造(スモールワールド、スケールフリー、ランダムネットワーク)の各ノードを意思決定者とし、意思決定規範を(模倣やレプリケータダイナミクス)変えた場合、および、系の利得構造を(囚人のジレンマ、スタグハント、タカハトゲーム)変えた場合に、それぞれが系全体の挙動に与える影響の解析を進めている。また、信号制御問題において、既存の研究では物理的に隣接する信号機間の協調制御法であるのに対して、代表者(荒井)は情報共有すべき信号機群を抽出した上で協調的な制御を提案し、その有効性を確認している。これらの知見から、物理的な位置関係に加えて、情報の共有関係が意思決定を左右することに着目し、(1)ゲーム理論に基づく複数主体(個人)間の相互意思決定モデル、(2)利害関係のある個人間の相互作用による系全体の振舞いの解析、および、(3)実証実験を実施した。

4. 研究成果

(1)ゲーム理論に基づく相互意思決定モデル - 情報配信が交通流に与える影響予測-

運転者は局所的な不完全情報に基づいて行動するため、動的に変化する状況や、他運転者の動向次第では、不適切な行動(UE)を選択することが知られている。この状況は社会的ジレンマ(social dilemmas)と呼ばれる。本課題は、全体最適(SO)を実現することを目的として以下の2つ段階からなる問題解決を試みた。

①情報の不完全性によって生じる社会的ジレンマ状況を図 2 のブライスのパラドクス

(Braess's Paradox)と呼ばれるモデルを用いた説明モデルを構築する。

② ①のモデルを用いて、情報提供による避難者行動の制御戦略を獲得する方法の確立。

X: リンクの旅行時間

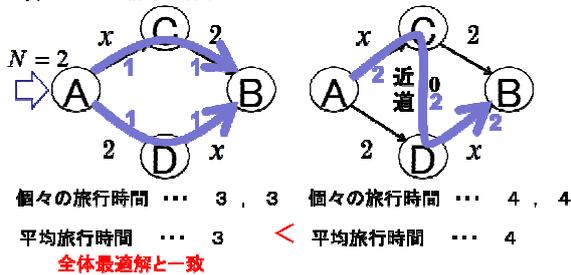


図 2: Braess's Paradox (A を出発点, B を目的地としたとき, 左右の図いずれの場合も AC と AD に半々に分かれるのが最適であるが, 右図のような「CD が近道」との情報提供されると全員が ACDB を選択し, 結果的に全員の旅行時間が増大するという問題)

【評価】 経路選択による旅行時間(全運転者が目的地に到着するまでの時間)を報酬として強化学習を繰り返すことによって各運転者は, ACB と ADB をバランス良く選択する政策(行動規範)を獲得することができた. 図 3 は横軸が f (単位時間あたりの人の流入量), 縦軸は旅行時間を示している. 図 3 中の p は情報を提供する確率を示しており, $p=1$ の時, 全運転者が情報提供を受けてそれに従う場合である. $p=1$ の場合には流入量が増えても SO (全体最適) な状況を実現できることを示している. これに対して情報を提供しない場合には, f の変化に対して急激に旅行時間が増大することがわかる.

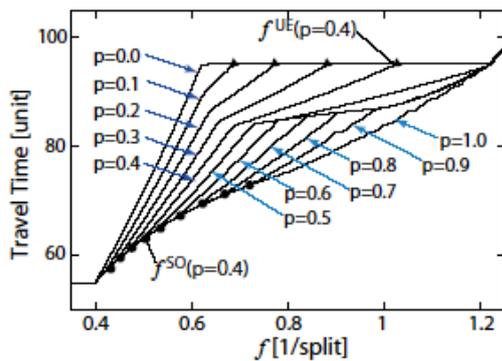


図 3: 情報提供による旅行時間増大の抑制

(2) 利害関係のある個人間の相互作用による系全体の振舞いの解析

情報は, 情報を獲得した個人(ノード)から, 直接繋がりを持つ隣接した個人(隣接ノード)に時間を経て伝播する. 伝播は個人間を繋ぐネットワーク構造によって広がり方が

異なることは多くのロコミの研究で既に明らかにされている. 本課題では, ネットワークで接続された個人間に利害関係を導入し, 利己的に意思決定をした場合に, 系全体の振舞いがどう変化するかを解析し, さらに, 系全体が「望ましい」振舞いとなるために, ネットワーク上に“全体を考慮して振る舞う利他的個人”を配置する方法と, 配置によって系の振舞いがどこまで改善されるかを調べた. 図 4 は横軸に Influencer (利他的個人) の数, 縦軸が系の挙動の望ましさを表す尺度として協力率である. これによれば, 系の挙動の協力率は, ネットワーク中心性や, 次数の高い個人(ノード)に模範的(利他的)振舞いをさせても単調には増加しないことを表しており, たとえば交通網における一部の拠点で交通整理を実施しても適切な交通流にならないことがあることを示している.

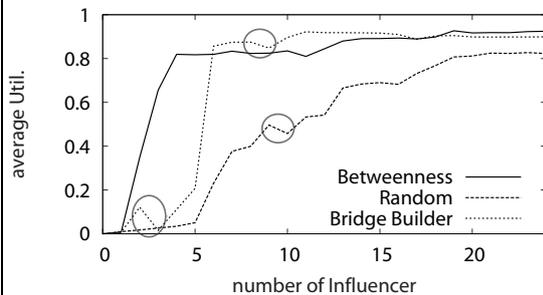


図 3: Influencer 数と協力率の関係: 全 400 人がスモールワールドネットワーク状の情報共有構造を持っている状況.

【評価】 図 3 から, 効果的な配置法を選べば 1% 程度の個人が模範的行動を選択すれば, 全体の協力率も向上することがわかる.

(3) 実証実験

① 2011 年 3 月の東北地方太平洋地震における車両走行データと利用者均衡配分によって推定される各リンクでの速度を比較し, 道路交通シミュレーションの推定精度の検証を行うことで, 東京都における地震後の道路交通需要を評価した.

② 多くの交通流シミュレーションでは定常状態の交通流を予測するモデルが一般的で, 過渡的な現象を再現することは困難である. しかし, 道路ネットワークの変化を伴う交通施策の評価においてこの過渡的な現象を無視することはできない. そこで本研究では, 道路ネットワークが変化する状況下でどちらの性質の現象も扱うことのできる経路選択モデルを提案し, 知的マルチエージェントシミュレータ MATES に実装した. 強化学習による行動モデルを用いて, 岡山市内の LRT 延伸計画について実環境での仮想社会実験を行い, その結果延伸実行後に小規模な渋滞が発生する可能性を示した. また, この渋滞

現象は運転者の保持する延伸前の走行経路がバイアスとして影響した結果、一時的に生じるもので、十分な時間経過の後定常状態に至ることを示した。

5. 主な発表論文等

(1) [雑誌論文] (計 12 件)

① Sachiyo Arai, and Tatsuya Masubuchi, A Study of Traffic Flow Optimization by Learning Pace-car : International Journal of Advancements in Computing Technology, 査読有, 2012, 4(22), 2012, 257-268

② 内田 英明, 藤井 秀樹, 吉村 忍, 荒井 幸代, 道路ネットワークの変化に対する経路選択の学習 : 情報処理学会論文誌, 査読有, 53(11), 2012, 2409-2418

③ 津田圭介, 胡内健一, 許斐信亮, 丸山喜久, 猪股渉, 乗藤雄基, 首都圏における地震後の緊急対応車両の走行状況に関する一考察, 地域安全学会論文集, 査読有, 2012, vol.18, 169-176

④ 藤井秀樹, 吉村忍, 高野悠哉, マルチエージェント交通流シミュレーションにおける交通事故モデリング, 査読有, 2012, vol.26, 42-49

⑤ Sachiyo Arai, Yuta Mabuchi, Learning Strategic Information Support for Controlling Traffic Flow, International Conference on Intelligent Unmanned Systems, 査読有, 2011, 6 pages,

⑥ Shuichiro Kanno, and Sachiyo Arai, Interaction Model for Chasm Creation on Multiagent Network, The SICE Annual Conference 2011, 査読有, 2011, 6 pages,

⑦ 荒井幸代, 今宿誠己, 檜山達矢, ステークホルダ同定による空間ゲームの協調の実現 : Joint Agent Workshops and Symposium 2010, 電子情報通信学会, 日本ソフトウェア学会, 情報処理学会, 人工知能学会, IEEE Computer Society Japan Chapter 主催, 査読有, 2010, CD-ROM

⑧ 増淵達也, 荒井幸代, 学習ペースカーによる交通流の最適化と考察 : Joint Agent Workshops and Symposium 2010, 電子情報通信学会, 日本ソフトウェア学会, 情報処理学会, 人工知能学会, IEEE Computer Society Japan Chapter 主催, 査読有, 2010, CD-ROM

(2) [学会発表] (計 25 件)

① 堀澤優介, 荒井幸代, 追跡問題におけるハンターの報酬関数の推定, 計測自動制御学会システム・情報部門, 第 40 回知能システムシンポジウム, 2013 年 3 月 15 日, 京都

② 北里勇樹, 荒井幸代, 逆強化学習を用いた学習高速化のためのサブゴール発見手法, 計測自動制御学会システム・情報部門, 第 40 回知能システムシンポジウム, 2013 年 3

月 15 日, 京都

③ 丸山喜久, 小山哲迪, 東北地方太平洋沖地震後の東京都における道路交通需要の推定, 第4回相互連関を考慮したライフライン減災対策に関するシンポジウム, 2012年12月07日~2012年12月8日, 神戸

④ 栗山 俊通 荒井 幸代, 貪欲アルゴリズムによるジレンマ解消エージェントの特定, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会, 2012年11月21日~23日, 愛知

⑤ 間淵雄太, 荒井幸代, 逆強化学習を用いたマルチエージェント環境下でのインセンティブの推定, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会, 2012年11月21日~23日, 愛知

⑤ 許海遅, 荒井幸代, 干渉状態に着目した NashQ-learning の改善, Joint Agent Workshops and Symposium 2012, 電子情報通信学会, 日本ソフトウェア学会, 情報処理学会, 人工知能学会, IEEE Computer Society Japan Chapter 主催, 2012年10月24日~10月26日, 静岡

⑥ 野村一平, 荒井幸代, 集団のジレンマを解消する相互監視ネットワーク形成アルゴリズム, 計測自動制御学会システム・情報部門, 第 39 回知能システムシンポジウム, 2012 年 3 月 15 日~3 月 16 日, 千葉

⑦ 大喜多周, 荒井幸代, 逆強化学習を用いた最適行動を促すインセンティブの推定, 計測自動制御学会システム・情報部門, 第 39 回 知能システムシンポジウム, 2012 年 3 月 15 日~3 月 16 日, 千葉

⑧ 鈴木香名子, 荒井幸代, 逆強化学習の導入による社会規範の誘発, 計測自動制御学会システム・情報部門, 第 39 回 知能システムシンポジウム, 2012 年 3 月 15 日~3 月 16 日, 千葉

⑨ 荒井幸代, 報酬関数の設計に関する研究事例, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会, 2011 年 11 月 21 日~23 日, 東京

⑩ 栗山俊通, 荒井幸代, 意思決定規範の相違による Influencer 導入効果の考察, 平成 23 年 電気学会, 電子・情報・システム部門大会, 2011 年 9 月 7 日~9 日, 富山

⑪ 間淵雄太, 荒井幸代, 強化学習エージェントの状態認識制御が交通流に与える影響, 平成 23 年 電気学会, 電子・情報・システム部門大会, 2011 年 9 月 7 日~9 日, 富山

⑫ 栗山 俊通 荒井 幸代, 系のジレンマ環境解消のための Influencer の導入とその配置法の考察, 第 25 回 人工知能学会全国大会, 2011 年 6 月 1 日~3 日, 岩手

⑬ 間淵雄太, 荒井幸代, 制御策に対する運転者の意思決定が交通流に与える影響, 第 25 回 人工知能学会全国大会, 2011 年 6 月 1 日~3 日, 岩手

⑭ 神野 周一郎, 荒井 幸代, ネットワーク構造とロコミ特性を考慮したキャズム生成

モデル, 計測自動制御学会システム・情報部門, 第 38 回 知能システムシンポジウム, 2011 年 3 月 16 日~17 日, 神戸

⑮ 鈴木香名子, 荒井幸代, 報酬設計による空間ゲームの社会規範創出, Joint Agent Workshops and Symposium 2010, 2010 年 10 月 27 日~29 日, 富良野

⑯ 内田英明, 荒井幸代, 情報提供戦略の学習による動的な交通量配分の実現, 平成 22 年 電気学会, 電子・情報・システム部門大会, 2010 年 9 月 2 日~3 日, 熊本

⑰ 内田英明, 荒井幸代, 情報提供戦略の Q 学習による交通ネットワーク流の制御, 第 24 回 人工知能学会全国大会, 2010 年 6 月 9 日~6 月 11 日, 長崎

(3) [図書] (1 件)

① Sachiyo Arai (Shu-Heng Chen eds.), IGI Global, Multi-Agent Applications with Evolutionary Computation and Biologically Inspired Technologies: Intelligent Techniques for Ubiquity and Optimization, Chapter13:Effects of Shaping a Reward on Multiagent Reinforcement Learning, 2010, 353pp., (pp. 232 - 247)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荒井 幸代 (ARAI SACHIYO)
千葉大学大学院工学研究科・准教授
研究者番号 : 10372575

(2) 研究分担者

吉村 忍 (YOSHIMURA SHINOBU)
東京大学大学院工学系研究科・教授
研究者番号 : 90201053

丸山 喜久 (MARUYAMA YOSHIHISA)
千葉大学大学院工学研究科・准教授
研究者番号 : 70397024