Flow-Stock サーチ理論の適用による 貨客のマッチング均衡

黛　風雅[1]

[1]学生会員　東京大学　工学系研究科 社会基盤学専攻（〒113–8656　東京都文京区本郷 7-3-1）
E-mail: mayuzumi@bin.t.u-tokyo.ac.jp

本研究では，労働市場におけるプラットフォームを介したマッチングを扱った Flow-Stock サーチ理論を空間的に拡張することで，貨客のマッチングモデルを提案する．財の到着過程が各ノードにおける相互のストック数と移動費用に従うような設定によって需給系列をネットワーク上に定義することで，マッチングを通じた価格の動的均衡モデルを立式する．さらに動的計画法に基づく偏差分方程式からなる均衡モデルを用いて，時間割引率や貨客の単位時間あたりの到着率が財の価格に与える影響を考察し, 数値実験によって，売り手側である財に対する人間の交渉力が空間的偏在を加速させることを示した.

Key Words: 貨客マッチング, *Flow-Stock* サーチ, サプライチェーン, 動的市場均衡モデル

1. はじめに

中山間地域での生活を維持するためには，都市機能を維持しながら土地利用や交通を整備していく必要がある．しかし，現実には多くの地域で小規模事業者の撤退が相次いでいる．ある地域では，買物弱者のための移動店舗が営業されていたりするものの，それらは効率的に運営されているとは言い難い．こうした状況を改善するため，地域経済の交通・物流結節点となる道の駅などの地域拠点が政策的に注目されている．特に地域の生産・流通システムが維持されてきた地域では，交通・物流拠点の重要性が高く，人とモノの移動が重なる状況では，貨客混載システムによってまばらな需要でも効率的に対応できることが指摘されている．交通・物流ハブによる貨客混載の特徴は，人とモノの移動を同時に扱いマッチングさせることである．

一般に貨客混載のシステムは車両の運行を想定した数理モデルとして記述され，配送計画問題（Vehicle Routing Problem）やダイアル・ア・ライド問題（Dial-a-Ride Problem）に基づいて開発されてきた．配送計画問題の観点からは，VRP や DARP は店舗の在庫レベルなどの在庫管理戦略に伴うサービスレベルの変化を考慮した需要モデルをカバーしていない．また，交通ネットワーク均衡問題では価格弾力的な需要を持つ状況を扱ってきているものの，マッチングを想定したモデリングはされてきていない．一方で，サプライチェーンマネジメントの観点からは，需要モデルは旅客と貨物の活動スケジューリングの数理モデルまで詳細には記述されていない．

本研究ではしたがって，地域経済システムが成り立つネットワーク上で，マッチングによって達成される均衡価格や需給量の空間的均衡配分を導出する定式化を行う．需要量が価格に与える影響の定量化において，プラットフォームを介した中央集権的な労働市場でのサーチ理論である Cole&Muthoo[1)] による Stock-Flow search モデルを参照する．彼らの示したマッチング市場における均衡では，均衡価格は現在市場に存在しているストックの数に加え，新たなフローの流入速度にも依存することを明らかにしている．これは両面マッチング市場におけるエージェントが現時点での取引に対して将来的な取引に置く相対的価値に起因し，これが相手側の到着率に依存するためである．

以上より本研究の目的は，人の流れとモノの流れが形成する均衡を，そのマッチング過程を踏まえて統一的に扱う理論的枠組みとして，単一システムである労働市場サーチ理論を空間上の問題に拡張すること，また，達成される均衡が両者の異質性によってどのように変化するかを明らかにすることとする．

2. 既往の研究

(1) 配送計画問題としての貨客混載システム

近年では，Ride-sharing は車両の利用者として移動目的のみに限らず配送目的の利用者も受け入れる貨客混載型の運行形態の実装が検討されてきており，デマンド交通・バス・鉄道など交通機関を限定せずに Co-modality という表現がされることもある．

貨客混載車両を単純な配送計画問題として扱う場合は VRP として定義され，起終点をもつ貨物の集配送経路の最適化問題を扱う pick-up and delivery 問題 (PDP) や，PDP における貨物需要を乗客として解釈し，待ち時間や乗車時間をできるだけ短くするという制約を考慮した Dial-a-ride problem(DARP) が主なクラスであるが，貨客混載車両の配送計画においては貨客それぞれをどのように区別して扱うかの詳細化が重要になる．

貨客混載の車両配送計画に関連する既往の研究では，一般的な配送計画問題における需要の画一的な扱い方とは異なり，一般に貨物よりも旅客の輸送が優先されることが多く，移動需要の時空間的偏在によって発生する道路容量の余剰に対して追加的に貨物の相乗りを想定するような研究が多い．

Ghilas ら[2] は定時定路線の公共交通を想定したデマンド交通の配送計画問題のシナリオとして，貨客混載の車両運行計画を，時間制約付きの PDP モデル (Pickup and Delivery Problem with Time Windows) 発展させた PDP-FSL(Pickup and Delivery Problem with Fixed Scheduled Lines) として提案しており，定時定路線の公共交通と，そのアクセス・イグレスを担うデマンド交通からなるネットワークにおいて，貨客混載を認めるリンクの組合せを比較するといった手法を採っている．

一方，Li ら[3] では，貨客混載の車両配送計画問題を定式化した SARP(Share-a-Ride Problem) と，それを簡約化した手法である FIP(Freight Insertion Problem) を併せて提案している．SARP では，貨客いずれの利用リクエストも同時に発生し，複数の車両があるときに，どの車両によって/どの順番で輸送されるかということが同時に決定される．一方 FIP では，乗客による利用リクエストに従って，どの車両によって/どの順番で輸送されるかというスケジュールが乗客についてのみ事前に決定された上で，そこから迂回路を付け加えるかたちで貨物の利用リクエストに対応するという設定を扱っている．また，旅客と貨物では要求されるサービス水準が異なるという特徴をモデリングに取り込んでおり，貨物の受け入れによって当該 OD の平均的な移動時間から大きく逸脱するような場合や，何度も停止が発生する場合については，乗客が拒否することがあり得ると想定している．つまり乗客側において，旅行時間に関するより強い要求があることを反映している．

貨物に関する相対的な時間制約の緩さの存在は，マッチングを効率的に行う上で非常に重要な特徴であると考えられる．逆の設定として，貨物のみが既に運送されている状態では，旅客を受け入れる際に迂回を比較的受け入れ易いということである．Mayuzumi, Hayakawa & Hato[4] では，貨客混載車両の配送スケジューリング問題において旅客需要を round trip，貨物需要を one-way trip として，その混在割合が配送効率に与える影響を，動的な設定において新たに発生するリクエストの限界貢献度を計算することで定量化したうえで評価している．

しかし貨物の性質によっては当然 urgent な需要もあるが，同時に旅客の側でも時間制約が緩い場合もありうる．加えて，旅客が往路・復路で異なる交通手段を使うこともあれば，貨物には再配達によって目的地から持ち返られることもある．このように，貨客需要の異質性については一般的な理解が十分に得られておらず，配送計画問題として扱う場合のモデリング手法や，そのパラメタリゼーションには課題があると言える．特に，貨客混載のネットワーク計画の評価においては，貨物側の需要モデルはかなり恣意的であることが多く，これは交通・物流の需要データの取得・集計が全く個別に行われていることに起因していると考えられる．以上の背景から，貨客混載車両を扱う上で，貨客需要に交通サービス・施設サービスの水準が与える影響やそれらの内生性，時空間的相互作用も考慮したモデリングアプローチが必要と言える．

(2) サーチ理論による需給のマッチング

市場において発生する，需要と供給の大小関係だけでは解決されない取引過程の摩擦はサーチ摩擦[5] と呼ばれ，局所的・分権的な市場での取引をもたらすことになる種々の探索コストによって引き起こされる．また，例えば就職市場では十分な数の就職先があっても競合のため内定がもらえないという事態が起こる．たとえ one-time の意思決定ではなくとも無限に求職活動が出来るという仮定はありえないためである．これはサーチ摩擦の問題ではなく情報の非対称性[6] に基づくものであり，完全情報下においても参加者間の協調が発生しなければこのような競合関係は解消されることはない．したがって，マッチングにおいて全体効率を最大化させるような調整機能が社会効率的なマッチングを達成するために必

要となる．以上のような情報の非対称性を解消するとともに，探索コストを緩和し，マッチング参加者の調整を媒介するのが，両面市場におけるプラットフォーマーによるマッチング機能である．

サーチ理論の萌芽である McCall[7] による逐次的サーチ理論では，価格分布が既知のもとでの逐次的探索行動における留保価格，またそれに従って決定される最適停止点問題に基づく消費者戦略を所与とすると，内生的に売り手側の価格決定モデル (価格掲示モデル) は買い手の最高支払意思額を設定することになり，価格分布が一点に退化するという課題があった．この課題に対して，買い手・売り手ともに取引相手探しを行い，出会ったのちに価格・数量について交渉するという定式化を行う両方向サーチモデル[5] が開発された．両方向サーチをベースに発展した directed search では，買い手・売り手の遭遇する過程がランダムであるという McCall' や，その先駆者である Stigler[8] の扱っていたようなランダム・サーチとは異なり，消費者が価格をみて購入を申し込むことができるというように，価格に応じて遭遇確率が定められるようになった．

これに対し，Flow-Stock Search モデルでは，流入する片側エージェントが，もう一方のタイプで過去にフローとして流入したタイミングで取引が成立せずにストックとなっているエージェントとマッチングするかどうかを決定するというマッチングの設定を置く．このようなフローとストックとの関係性の中で，Coles&Muthoo[1] は均衡価格がストックの数に依存するのみならず，新規の買い手・売り手が市場に流入する速度にも依存することを示している．需給の両エージェントが交渉する機会が限定されることで，瞬間的競争と異時点間競争の相対的影響を評価し，将来的に発生する取引の存在が考慮される．このようなマッチング機構を前提とした実証研究として Ebrahimy&Shimer[9] や Andrews ら[10] の既往研究がある．Ebrahimy&Shimer[9] では，失業率分布，労働市場に参入する採用枠が失業者を就職させる確率，労働市場から退出する採用枠が被雇用者を失業させる確率を明示的に定式化し，これらの周期的な変動が U.S. データにおける実際の失業率-欠員率の関係性を示す Beveridge 曲線とほぼ一致することを示した．Andrews ら[10] もまた，労働市場の詳細なパネルデータを用いて求職者と空き採用枠のハザード関数を推定している．Flow-Stock サーチはその性質から，サーチ理論が発展し始めた 1970 年代には十分に発達していなかったインターネット技術やそれの上で展開されるプラットフォームビジネスの存在を前提とした，探索摩擦の存在しない設定を扱うためのモデルと言える．Flow として流入してくるエージェントはもう一方の type の全ての Stock を選択肢として一瞬で考慮できることを前提としたモデルになっているためである．

交通市場での探索摩擦が均衡に与える影響分析は，Lagos[11),12)] が代表的である．Lagos[12)] では規模に対して収穫一定であるようなマッチング関数 (需給量を引数として発生するマッチング数を返す関数) を扱っていたが，Brancacccio ら[13)] では，マッチング市場の規模に対する収穫に基づき既往の研究を整理し，Flow-Stock Search では市場に参入した段階でのマッチング確率は高いが，その後低下して一定になるというような市場メカニズムが働いていると指摘している．しかし，都市交通の場合を扱う場合には．実際には収穫逓増が適当である可能性を，Frechette ら[14)] の分析を参照して指摘している．そこでは，タクシー市場の動的均衡モデルを提案し，参入制限，1 日の行動パターン，探索摩擦を特徴として取り込んだモデルで NYC でのタクシー市場のデータを用いて推定し，規模の増加に伴う収穫逓増が示されている．また，Buchholz ら[15)] も同様に NYC でのタクシー市場における均衡を分析し，タクシー規制が探索摩擦と配分不和の結果として非効率性をもたらすことを示しているが，Frechette ら[14)] が労働供給の動的決定過程に焦点を当てているのに対して，空間的立地の意思決定を扱っている点に大きな違いがある．彼らは市場の現在状態の観測に従う行動ではなく，過去の市場で得られた平均値から戦略決定するエージェントを仮定する Oblivious Equilibrium[16)] や Experience-Based Equilibrium[17)] をもとに，大規模市場を想定した non-atomic モデルで空間的な day-to-day の需給均衡を示している．Lagos[11),12)] を端緒とするこれらの一連の研究の特徴に，いずれも需要モデルと供給モデルを定義しているが，マッチングアルゴリズムとして特定のメカニズムを定義することに重きを置かず，市場における需給の量を基本的な引数としつつマッチング数を返すマッチング関数を定義し，そのパラメータの推定において実データを用いた推定を行うという点が挙げられる．

Flow-Stock サーチのようなマッチングの枠組みを空間的な要素の強い物流・交通市場におけるマッチングへ発展させようとすると，需要モデル・供給モデルとしての両側エージェントの意思決定に関わる空間的な変量をどのように考慮するかという問題になる．Ebrahimy&Shimer[9] や Andrews ら[10] では市場に到着する，あるいは退出する量を一つの系のみに着目しているのに対し，交通ネットワークにおいては窓口となる各サービスごとに系が発生し，需給サー

ビス量の時間変化には空間的な相互作用が存在しているため，これらを明示的に到着-退出確率/過程に反映させる必要がある．

(3) 小結

本章では，配送計画問題と需給均衡の両側面から貨客のマッチングシステムに対する数理的アプローチを整理した．Nagurney[18] は，サプライチェーンネットワークと交通ネットワークにおける均衡モデルの記述の違いについて，前者では複層的なサプライチェーンにおける意思決定者をノードとしたネットワークを記述しているのに対し，後者では交通ネットワーク上の O/D または交差点をノードとしていると指摘している．そのうえで，サプライチェーンネットワークを，それに対応するスーパーネットワーワークとして記述し直すことによって，交通ネットワークの均衡配分問題と同様の定式化が可能になることを示している．均衡配分問題としての人流・物流の扱いは，ネットワーク上の流量や費用についての，混合整数計画問題のような最適化問題とは異なる枠組みを提示するとともに，貨客の輸送において統一的なモデルを示す可能性がある．例えば移動パターンの異質性を扱う場合，配送計画問題として直接的に表現しようとするとプリズム制約として定義される到着時刻や出発時刻の設定や OD の設定によってエージェントのクラスを区別する必要がある．均衡モデルではしかし，そのような個別的な扱いをすることなく，需要と供給のプロセス間の空間的な相関関係を定義し，時空間的な配分パターンを得ることができ，感度分析等も解析的またはシミュレーションに基づいて比較的容易になるため，政策レベルでの意思決定の根拠を得ることができるようになると考えられる．

本研究ではしたがって，財の到着過程が各ノードにおける相互のストック数と移動費用に従うような設定によって需給系列をネットワーク上に定義することで，マッチングを通じた価格の動的均衡モデルを立式する．

3. モデルのフレームワーク

貨客のエージェント間のマッチングを考えると，ネットワーク上での移動需要を表す到着率の関数を設定する必要があるが，異質性を表現するためには貨客では異なる需要メカニズムを考慮する必要がある．また，貨客の間にはそれぞれ互いの需要を誘発する効果があることを踏まえると，それぞれの需要はもう一方のタイプの過去の到着系列を踏まえたものになるか，あるいは現在状態の観測に従うものになる必要がある．

Ebrahimy&Shimer[7] においてはマッチングの成立や解消の発生確率が現在状態のみに依存するような定式化によって要約統計量の分析に焦点を当てている．全体の労働者数は外生的に与えられている前提で，最も古い求人枠が失業中の労働者の一人でも生産的なマッチングを行うことができる場合には，その中から割り当てられるという設定が置かれる．マッチングの成立・解消確率は過去の系列によらず，現在残っている求人枠と労働者数のみに依存しているという設定のためである．また Coles&Muthoo[7] では，現在状態の観測に従う純戦略マルコフ完全均衡の存在を保証する条件として，期待利得についての差分方程式の解が存在し，それが交渉ゲームが発生するための必要条件を満たしていることが満足される必要があるとしている．

本研究では，上記の設定に倣い，引数として現在状態の貨客のストック数を用いた連立偏差分方程式を用いることとする．ネットワークは簡単のため 2 つのノード A,B で構成されるものとする．このようなネットワーク内で，2 種類のエージェント (H と F) の行動をモデル化することで，空間的な拡張を試みる．各ノードにおけるエージェントの価値関数 $V_i(H_i, F_i)$ は，当該ノードにおけるストック数や，その他の変数に依存する．H と F は相互に影響し合い，それぞれのエージェントの期待利得はもう一方の他のエージェントの価値関数に依存し，これにより相互作用がモデル化される．H と F の間での相互作用に加えて，ノード A と B の間にはそれぞれが目的地として選択される確率が，既に当該ノードに存在するエージェントの期待利得や，相対的なアクセス費用によって決定されるという点で相互依存的な到着率を有することになる．

(1) フロー・ストック・サーチモデルの定式化

市場にヒトとモノを表す 2 種類のエージェント集合 H と F が存在する，2 ノード A,B からなるシステムを考える．ノード集合を I とし，どちらのノードかを区別しない表現として，$i \neq j$ である $i, j \in I$ を定式化においては用いる．

システムはその離散時間ステップの間隔を Δ とする無限時間上に定義する．ヒトの到着率を α_H，モノの到着率を α_F とする．このとき，ある時点において次のステップにそれぞれのエージェントの移動がシステム内で発生する確率は $\alpha_H\Delta$,$\alpha_F\Delta$ と書ける．本研究では α_H と α_F を外生的に与え，エージェント

の目的地選択の結果に影響されない量としている．

エージェントは「旧」エージェントと「新」エージェントに分類される．旧エージェントとはある時点で既にノードに残っているエージェントであり，新エージェントは新たにノードに到着するエージェントである．これらの分類が必要なのは，タイプ間でのマッチングシナリオを異なって設定するためである．

到着率はノードごとに定義され，$\alpha_{H,i}, \alpha_{F,i}$ と書く．ノードへのアクセス費用と各ノードにおけるモノの価格がノード A,B への到着率の配分結果に影響するように，2 項ロジットモデルによって目的地選択の条件付き確率を以下のように定義する．

$$\begin{cases} P(\alpha_{H,i}|\alpha_H) = \frac{exp(U_{H,i})}{exp(U_{H,i})+exp(U_{H,j})}, \\ P(\alpha_{F,i}|\alpha_F) = \frac{exp(U_{F,i})}{exp(U_{F,i})+exp(U_{F,j})}. \end{cases} \tag{1}$$

上式の $U_{H,i}$ と $U_{F,i}$ はノード i の選択に際しての，ヒト・モノに関する確定項を表す．また，式 (2) はノード i において成立しているモノの価格 $V_i(H_i,F_i)$ と，そのノードへの移動費用 C_i を説明変数とする，各ノード選択の価値関数を示す．価格とアクセス費用の係数は H と F それぞれで異なり，価格については $\beta_{H,p}$,$\beta_{F,p}$，アクセス費用については $\beta_{H,c}$,$\beta_{F,c}$ と表記する．ここで，価格とは次項にて定義されるマッチングによって形成されるものとする．

$$\begin{cases} v_{H,i} = U_{H,i} + \epsilon = \beta_{F,p} V_i(H_i,F_i) - \beta_{F,c} C_i + \epsilon, \\ v_{F,i} = U_{F,i} + \epsilon = \beta_{H,p} V_i(H_i,F_i) - \beta_{H,c} C_i + \epsilon, \end{cases} \tag{2}$$

表-1 にモデルの定式化に用いる変数を整理する．

(2) マッチング成立のシナリオ

交渉ゲームにおける期待値計算の簡単のため，システムに到着する H と F は異なる到着過程を有しながらも，どちらに属するかは等しい確率となると仮定する．目的地選択モデルは需要生成モデルと分離されていることになるため，これらのモジュールの統合は本研究の今後の課題とする．

マルコフ完全均衡における状態 (H_i,F_i) に対し，$V_i(H_i,F_i)$ はノード i における旧エージェント H の期待利得を表すこととする．またこのとき，対称的に $V_i(F_i,H_i)$ をノード i における旧エージェント F の期待利得とする．

$r > 0$，$\alpha_{H,i} > 0$，$\alpha_{F,i}$，$\Delta > 0$，$0 < \lambda < 1$ であるいずれの条件下でも，異なるタイプの新旧エージェント間で正の取引利得が得られる場合，均衡において新エージェントは確率 1 で取引することになる．ここで，λ は異なるタイプのエージェントを選好するかどうかの確率を与えるマッチング生起確率と定義する．ここで，エージェント H とエージェント F の到着が同時に発生する対称ゲームであれば，交渉ゲームにおいて両者は同じ期待利得を得ることになるが，それらの間で到着プロセスが異なる場合には威嚇点 (thread point) の違いを考慮する必要がある．威嚇点はコースの定理に由来し，交渉に参加しないことによって自分たちが保証できる利得を指し，将来の取引の可能性を含めた外部機会も含まれることになる．

このことを鑑み，実現可能なマッチングの確率的帰結を動的計画法で記述する．ストック数 $N = \min(H_i,F_i)$ に基づき，2 種類のマッチングシナリオ (A) ($for\ all\ N \geq 1$) 交渉ゲームと (B) ($for\ all\ N \geq 2$) ベルトラン競争を定義する．また，これらのシナリオは新エージェント F の到着の条件下でのシナリオ (f) と新エージェント H の到着の条件下 (h) で以下のようにさらに細分化される．

(A-f)新エージェント F は旧エージェント H としかマッチングされない．これは確率 $\lambda(1-\lambda)^{H_i-1}$ で発生する．このシナリオでの期待利得を式 (3) に示す．$V(F_i+1,H_i)$ は交渉ゲームにおけるエージェント F の機会費用を意味する．

$$\frac{1}{2}[1 - V_i(F_i+1,H_i) + V_i(H_i,F_i+1)], \tag{3}$$

(B-f1)旧エージェント H のいずれも，新エージェント F とマッチングしない．これは確率 $(1-\lambda)^{H_i}$ で発生し，状態 (H_i,F_i+1) に遷移する．このシナリオでの期待利得を式 (4) に示す．

$$(1-\lambda)^{H_i} V_i(H_i,F_i+1). \tag{4}$$

(B-f2)新エージェント F はエージェント H とマッチングし，さらに，その候補は複数存在している．これは確率 $1-(1-\lambda)^{H_i-1}$ で発生し，状態 (H_i-1,F_i) に遷移する．このシナリオでの期待利得を式 (5) に示す．

$$[1-(1-\lambda)^{H_i-1}] V_i(H_i-1,F_i). \tag{5}$$

(B-h1)旧エージェント F は新エージェント H とマッチングしない．これは確率 $(1-\lambda)^{F_i}$ で発生し，状態 (H_i+1,F_i) に遷移する．このシナリオでの期待利得を式 (6) に示す．

$$(1-\lambda)^{F_i} V_i(H_i+1,F_i). \tag{6}$$

(B-h2)新エージェント H はエージェント F とマッチングし，さらに，その候補は複数存在している．これは確率 $1-(1-\lambda)^{F_i}$ で発生し，状態 (H_i,F_i-1) に遷移する．このシナリオでの期待利得を式 (7) に示す．

表記	定義
I	ノード集合 $I = \{A, B\}$
Δ	離散時間ステップ
H_i	ノード i におけるエージェント H のストック数
F_i	ノード i におけるエージェント F のストック
λ	二項分布パラメータ: マッチングの生起確率
$\alpha_{H,i}$	ノード i におけるエージェント H の到着率
$\alpha_{F,i}$	ノード i におけるエージェント F の到着率
α_H	システムにおけるエージェント H の移動の発生率
α_F	システムにおけるエージェント F の移動の発生率
$P(\alpha_{H,i}\|\alpha_H)$	エージェント H の移動発生を条件とするノード i の選択率
$P(\alpha_{F,i}\|\alpha_F)$	エージェント F の移動発生を条件とするノード i の選択率
$v_{H,i}$	エージェント H のノード i 選択の価値関数
$v_{F,i}$	エージェント F のノード i 選択の価値関数
C_i	ノード i へのアクセス費用
$\beta_{H,p}, \beta_{F,p}$	マッチングによって形成される価格の価値関数内での係数
$\beta_{H,c}, \beta_{F,c}$	アクセス費用の価値関数内での係数
r	時間割引率
$V_i(H_i, F_i)$	ノード i において H_i,F_i のストック数があるときの旧エージェント H の期待利得
$V_i(F_i, H_i)$	ノード i において H_i,F_i のストック数があるときの旧エージェント F の期待利得
$V_i(H_i, F_i\|\alpha_{F,i})$	新エージェント F がノード i に到着する条件下での，ノード i において H_i,F_i のストック数があるときの旧エージェント H の期待利得
$V_i(H_i, F_i\|\alpha_{H,i})$	新エージェント H がノード i に到着する条件下での，ノード i において H_i,F_i のストック数があるときの旧エージェント H の期待利得

表-1: 表記リスト

$$[1 - (1 - \lambda)^{F_i}]V_i(H_i, F_i - 1). \tag{7}$$

ここで，$V_i(H_i, F_i|\alpha_{F,i})$ と $V_i(H_i, F_i|\alpha_{H,i})$ は，エージェント F とエージェント H の到着を条件とした旧エージェント H の期待利得を示している．式 (3)-(7 より，ノード i に H と F の各タイプのエージェントが含まれる場合の旧エージェント H の期待利得 $V_i(H_i, F_i)$ は，

$$\begin{aligned} V_i(H_i, F_i) = [&(1 - \alpha_{F,i}\Delta - \alpha_{H,i}\Delta)V_i(H_i, F_i) \\ &+ \alpha_{F,i}\Delta V_i(H_i, F_i|\alpha_{F,i}) \\ &+ \alpha_{H,i}\Delta V_i(H_i, F_i|\alpha_{H,i})]/(1 + r\Delta), \end{aligned} \tag{8}$$

と式 (8) のように書け，Δ を省略して式 (2) を置き換えてと以下のように整理される．

$$\begin{aligned} &(r + \alpha_{F,i} + \alpha_{H,i})V_i(H_i, F_i) \\ &= \alpha_{F,i}V_i(H_i, F_i|\alpha_{F,i}) + \alpha_{H,i}V_i(H_i, F_i|\alpha_{H,i}) \\ &= \frac{\alpha_F V_i(H_i, F_i|\alpha_{F,i})}{1 + exp[\beta_{F,p}\{V_j(H_j, F_j) - V_i(H_i, F_i)\} - \beta_{F,c}(C_j - C_i)]} \\ &+ \frac{\alpha_H V_i(H_i, F_i|\alpha_{H,i})}{1 + exp[\beta_{H,p}\{V_j(H_j, F_j) - V_i(H_i, F_i)\} - \beta_{H,c}(C_j - C_i)]}. \end{aligned} \tag{9}$$

また，式 (9) 中の $V_i(H_i, F_i|\alpha_{F,i})$ と $V_i(H_i, F_i|\alpha_{H,i})$ はそれぞれ式 (10) と式 (11) のように展開される．

$$\begin{aligned} &V_i(H_i, F_i|\alpha_{F,i}) \\ &= \frac{1}{2}\lambda(1 - \lambda)^{H_i - 1}[1 - V_i(F_i + 1, H_i) + V_i(H_i, F_i + 1)] \\ &+ (1 - \lambda)^{H_i}V_i(H_i, F_i + 1) + [1 - (1 - \lambda)^{H_i - 1}]V_i(H_i - 1, F_i), \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned} &V_i(H_i, F_i|\alpha_{H,i}) \\ &= (1 - \lambda)^{F_i}V_i(H_i + 1, F_i) + [1 - (1 - \lambda)^{F_i}]V_i(H_i, F_i - 1), \end{aligned} \tag{11}$$

また，現在における交渉と外部機会との比較からマッチングの発生を保証づけるための以下の不等式を満たしていることが必要となる．

$$V_i(F_i + 1, H_i) + V_i(H_i, F_i + 1) \leq 1, \tag{12}$$

$$V_i(F_i + 1, H_i) + V_i(H_i - 1, F_i) \leq 1, \tag{13}$$

$$0 \leq V_i(H_i, F_i) \leq 1. \tag{14}$$

式 (9)-(14) をまとめることで，ノード $i \in I$ についてそれぞれ 2 次元偏差分方程式が得られる．

4. 数値計算

本章では，ノード i に H と F の各タイプのエージェントが含まれる場合の，旧エージェント H の期待利得である $V_i(H_i, F_i)$ の均衡値の形成について議論する．数値シミュレーションは，ベルマン方程式の反復法を用いて行う．各反復ステップで現在の価値関数を用いて新しい値関数を生成し，それを現在の価値関数に置き換える．これを値が十分に収束するまで繰り返す．収束判定の許容閾値を 10^{-6} とする．連続する 2 回の反復計算の間で価値関数の差が閾値より小さくなった時点で反復計算を終了する．

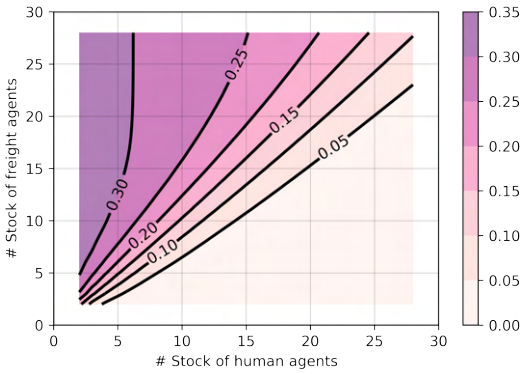


図-1: ベンチマーク設定における $V_A(H_A, F_A) = V_B(H_B, F_B)$ のコンター図

(1) ベンチマーク設定

空間的特徴が均衡に与える影響を分析するために，ノード A とノード B の到着率の説明変数間に差がない場合，すなわち，式 (2) で定義されるエージェント H とエージェント F の効用関数の係数が同じである場合の均衡状態をベンチマークケースとして計算した．このとき，$\beta_{F,p} = \beta_{H,p}$ と $\beta_{F,c} = \beta_{H,c}$ が満たされる．

また，式 (1) で定義される各ノードに到着する条件付確率が等しく，$P(\alpha_{H,i}|\alpha_H) = P(\alpha_{F,i}|\alpha_F) = 0.5$ が満たされるように，$\lambda = 1.0$，$C_A = C_B$ を設定する．図-1 は，表-2 にまとめたパラメータ値に対する $V_i(H_i, F_i)$ のコンター図を示している．参考値として，平均期待利得 $\overline{V_i}$ と最大期待利得 $\max V_i$ を示している．ベンチマーク設定では $V_A(H_A, F_A)$ と $V_B(H_B, F_B)$ は同一となる．

ベンチマーク設定	
到着率	$\alpha_F = 10, \alpha_H = 10$
アクセス費用	$C_A = 0.1, C_B = 0.1$
価格係数	$\beta_{F,p} = \beta_{H,p} = 1.0$
アクセス費用係数	$\beta_{F,c} = \beta_{H,c} = 1.0$
時間割引率	$r = 0.1$
マッチング生起確率	$\lambda = 1.0$
グリッドサイズ	30
均衡状態	
条件付き到着率	$P(\alpha_{H,A}\|\alpha_H) = 0.500$ $P(\alpha_{F,A}\|\alpha_F) = 0.500$
平均価格	$\overline{V_A} = \overline{V_B} = 0.124$
最大価格	$\max V_A = \max V_B = 0.329$

表-2: ベンチマーク設定と達成される均衡結果

エージェント間に異質性のないベンチマーク設定における均衡として，総和の最大値として 1 を取る期待利得が 2 つのノードの両エージェント間で均等に配分され，H と F のストック数が等しくなっている場合には，期待利得が約 0.25 に近づいていることは妥当な結果と言える．時間割引率 $r = 0.10$ の影響により，実際にはそれよりも小さい値を取ることになる点は注意が必要である．

ベンチマーク設定から得られる発見として，$V_i(H_i, F_i)$ は H_i について減少し，F_i について増加する関数であるということである．これは，旧エージェント H は新エージェント F とマッチングするため，同じノードに競争相手がいる場合には期待利得が減少する可能性があることを表現している．また，エージェント F が多く存在する場合には，新エージェント H がマッチングに失敗する確率が小さくなり期待利得が高まるが，逆に新エージェント F がマッチングされなくなるため，このような場合ではノード i は新エージェント F を誘引する環境とはなっていないため安定的とはなりえない．

ベンチマーク設定について，さらに λ と到着率 $\alpha_H (= \alpha_F)$ の値に対する感度をさらに調べる．まず,λ のいくつかのケースについて小さい値を設定し，ベンチマークのケースと比較する．図-2 は，$\lambda = 0.50, 0.10, 0.05$ の時の，各ノードにおける旧エージェント H の期待利得を示したコンター図である．$V_i(H_i, F_i)$ は $\lambda = 0.10$ 付近までは λ が小さくなるにつれて徐々に増加するが，λ がそれを下回ると減少に転じる．

次に，H と F の到着率の違いによる平均期待利得 $\overline{V_i}$ と最大期待利得 $\max V_i$ を比較し，これらの値を表-3 にまとめる．マッチング生起確率ごとに得られる期待利得を比較すると，$\lambda = 0.10$ が平均値・最大値ともに最も大きな値を与えている．また，この傾向は λ の値が増加した場合についても，$\alpha_H = \alpha_F = 10$

の場合と同じことが確認された．

到着率 $\alpha_H = \alpha_F$	生起確率 λ	平均期待利得 $\overline{V_A}$	最大期待利得 $\max V_A$
10	0.05	0.197	0.367
	0.10	0.231	0.491
	0.25	0.187	0.460
	0.50	0.141	0.368
	1.00	0.124	0.329
50	0.05	0.281	0.494
	0.10	0.296	0.611
	0.25	0.218	0.521
	0.50	0.162	0.396
	1.00	0.141	0.333
100	0.05	0.296	0.516
	0.10	0.307	0.631
	0.25	0.222	0.531
	0.50	0.165	0.401
	1.00	0.143	0.333

表-3: 到着率 $\alpha_H = \alpha_F$ とマッチング生起確率 λ ごとの均衡利得の比較

なお，いずれの場合も均衡時の条件付き到着確率は両ノード i,j で等しく，$P(\alpha_{H,i}|\alpha_H) = P(\alpha_{F,i}|\alpha_F) = 0.5$ が満たされる．エージェント H とエージェント F の到着率の均衡値から，H と F が同じ割合で増加し，初期状態に帰着することが確認できている．したがって $V_i(H_i,F_i)$ と $V_i(H_i+1,F_i+1)$ の差が小さければ，状態 (H_i,F_i) は安定である．図-2 の結果を見ると，H_i と F_i のストック数が小さいほどこの傾向が強いことが分かる．

(2) 空間的特性の分析

本節では，ベンチマーク設定においては $C_A = C_B$ とした各ノードへのアクセス費用の比率を変化させることで，モデルの空間的特性について考察する．前節では α の変化による期待利得の変化に強い傾向を確認できなかったため，デフォルトの到着率 $\alpha_H = \alpha_F = 10$ のもとで，ノード A,B に関するアクセス費用の比を変化された．

一般性を失うことなく，$C_A \geq C_B$ と仮定する．C_A に対する C_B の値が小さくなるにつれて，ノード A における到着率と期待利得は単調に減少した．表-4 はそれらの値の変化を示している．$C_B/C_A = 1.0$ から 0.6 の間で，ノード A への到着率の減少ペースが高い．前節とは異なり，均衡時のノード A への到着率はノード B への到着率とは異なる値を取るが，$\alpha_{H,i} = \alpha_{F,i}$ は依然として満たされている．

図-3 は $C_B/C_A = 0.9, 0.8, 0.7, 0.6$ について得られた均衡時の $V_A(H_A,F_A)$ と $VB(H_B,F_B)$ の値のコンター図を示したものである．$V_A(H_A,F_A)$ も $V_{B(H_B,F_B)}$ も全体としては H_i について減少し，F_i について増加する傾向は保たれてる．ただし，H_i が小さく F_i が大きい場合には，この傾向が逆転する．この図から，$V_A(H_A,F_A)$ は買い手であるエージェント H が少数で，売り手であるエージェント F が多数のときに最も高くなることがわかる．また，均衡時には等高線の傾きが到着率の比 $\alpha_{F,i}/\alpha_{H,i}$ と平行であることも観察される．

C_B/C_A が大きい場合と小さい場合の主な違いは，C_B/C_A が小さい場合の方が $V_A(H_A,F_A)$ が小さくなることである．これは両エージェントがノード A に到着する頻度が少ないほど，買い手と売り手がマッチングする機会が少なくなり，その結果，エージェント H が好みのエージェント F を見つけにくくなるためである．また，C_B/C_A が大きい場合，コンター間の遷移がより滑らかになっている．これは，両エージェントがノード A に到着する頻度が高い場合には，均衡価格の変動が少なくなるためである．

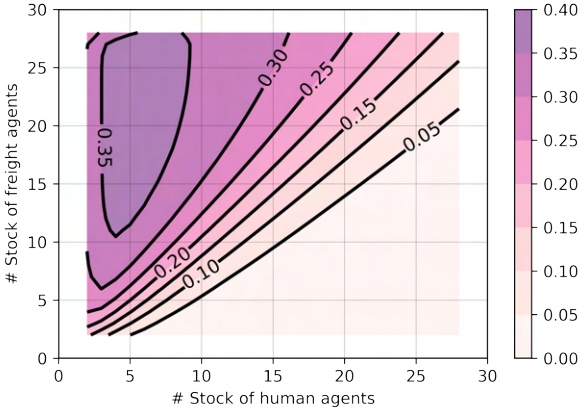
ノード間でアクセス費用の差が大きくなるにつれて，$V_A(H_A,F_A)$ と $V_B(H_B,F_B)$ は異なる傾向を示すようになり，より到着率が高まるノード B においては，最も高い $V_B(H_B,F_B)$ が得られる状態は，ノード A とは異なってある程度のエージェント H が確保されている状態となっている．

(3) 貨客の異質性の分析

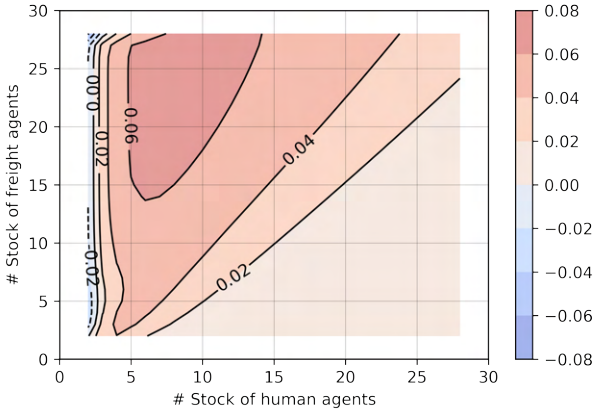
最後に，式 (2) で定義される目的地選択の効用関数におけるエージェント H とエージェント F の間での異質性の影響について考察する．前節までは係数の組 $\beta_{H,p}, \beta_{F,p}$ と $\beta_{H,c}, \beta_{F,c}$ は等しい場合について扱った．本節では，これらの係数の違いが，各ノードにおけるエージェント H とエージェント F の期待利得や各ノードへの到着率にどのような影響を与えるかを示す．

エージェント H の方が価格やアクセス費用の変化に対して敏感であると仮定し，$\beta_{H,p} \geq \beta_{F,p}$ を満たす場合と $\beta_{H,p} \geq \beta_{F,p}$ を満たす場合を比較する．対応する $\beta_{H,p}, \beta_{H,c}$ と，$\beta_{F,p}, \beta_{F,c}$ 間の差は，$\beta_{F,p}$ と $\beta_{F,c}$ の 25%，50%，100%を取るように設定している．

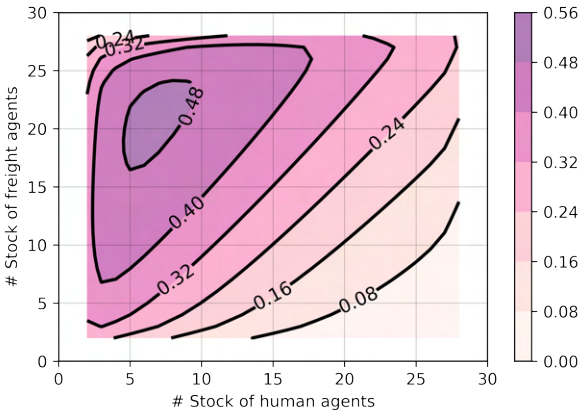
表-5 と表-6 は，$\lambda = 0.10$ かつ $\alpha_H = \alpha_F = 10$ の条件下で，異なる価格係数・アクセス費用係数ごとに得られる期待利得と到着率の均衡値を示している．



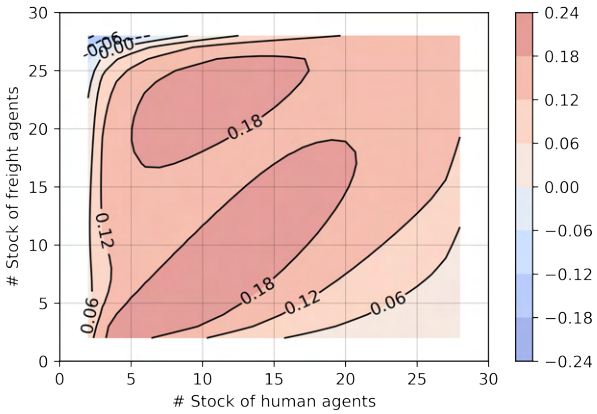
(a) $\lambda = 0.50$ の場合のコンター図



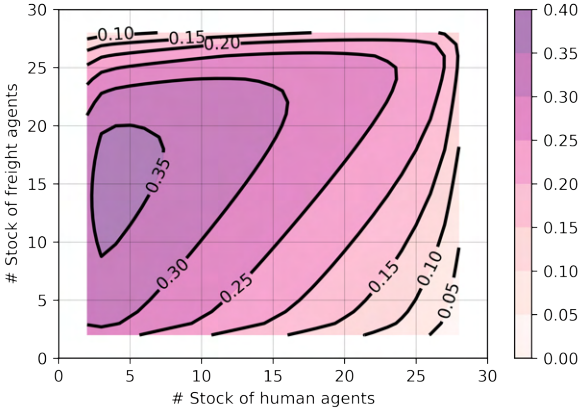
(b) $\lambda = 0.50$ の場合のベンチマーク設定からの差分



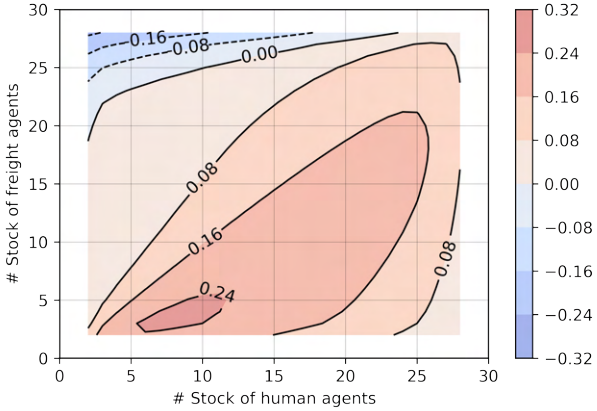
(c) $\lambda = 0.10$ の場合のコンター図



(d) $\lambda = 0.10$ の場合のベンチマーク設定からの差分



(e) $\lambda = 0.05$ の場合のコンター図



(f) $\lambda = 0.05$ の場合のベンチマーク設定からの差分

図-2: $\lambda = 0.50, 0.10, 0.05$ の場合の $V_A(H_A, F_A) = V_B(H_B, F_B)$ のコンター図 (左側) と，その値のベンチマーク設定からの差分 (右側)

ノード B からのアクセス費用のギャップがいくらか相殺されるため，価格の係数が増加するにつれて平均期待利得とノード A への条件付き到着率が増加するという仮説が成り立つ．しかし，ノード A への条件付き到着率が増加するという仮説は正しくなく，逆にノード B への条件付き到着率は増加する結果となった．これは，$\beta_{H,p}/\beta_{F,p}$ の値が大きい場合での均衡状態において，エージェント H のエージェント F に対する交渉力が強くなる効果と解釈できる．エージェント H は，目的地を決定する際に価格に重きを

C_B/C_A	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$\alpha_{H,A}/\alpha_H$	0.291	0.291	0.292	0.293	0.295	0.298	0.303	0.368	0.437	0.500
$\overline{V_A}$	0.038	0.042	0.047	0.054	0.062	0.073	0.089	0.121	0.167	0.231

表-4: アクセス費用のギャップに対する条件付き到着率と平均期待利得の変化

置くほど，より良いマッチング結果を望み，その結果としてアクセス費用に関する条件の悪いノードへの到着率が小さくなったことが分かる．

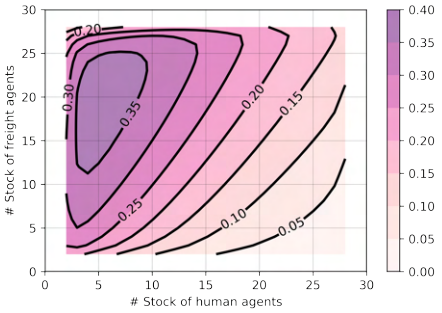
アクセス費用の係数については，結果は単純であった．アクセス費用がエージェント H により強い影響を有する場合には，平均期待利得に関してエージェント F よりも不利になり，$P(\alpha_{H,A}/\alpha_H)$, $P(\alpha_{F,A}/\alpha_F)$ の到着率も小さくなる．$\beta_{H,c}/\beta_{F,c}$ の増加は，両タイプのエージェントに対して．ノード A よりノード B の選好を加速させるのみである．

5. まとめ

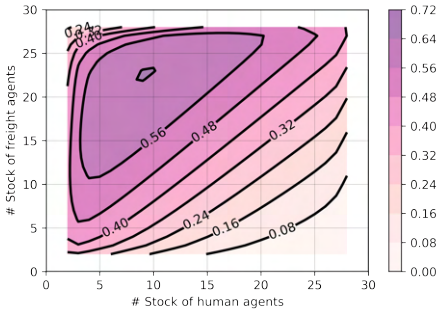
本研究では，Flow-Stock サーチ理論を空間的に拡張することにより，貨客のマッチングモデルを提案した．労働市場で定義された元々のモデルは，単一のノードとして解釈できる単一の市場を想定している．そこで，相互作用を伴う需要と供給の到着過程を定義することにより，モデルを 2 ノードネットワーク問題に拡張した．貨客の異質性は，到着率に影響を与える目的地選択の効用関数に組み込まれた．マッチングシナリオは交渉ゲームとベルトラン競争に分類され，各ノードにおける貨客の旧エージェントの価値関数は，動的計画法の方法で 2 次元偏差分方程式で定式化された．数値シミュレーションによって，モノに対するヒトの交渉力が空間的偏在を加速することが示された．本研究の今後の発展性として，このような偏在を抑制する制御・調整のメカニズムを導入することである．移動すること，あるいは移動しないことに対するインセンティブを付与することで需給のバランスを調整したり，移動手段として貨客混載車両や移動販売者の経路決定問題を併せることが考えられる．

均衡モデルという観点からの設定の限界は，システム内で発生する移動需要を外生的に与えていることである．目的地選択の結果を移動・配送需要の発生や分布へのフィードバックを持つモデルに改良する必要がある．

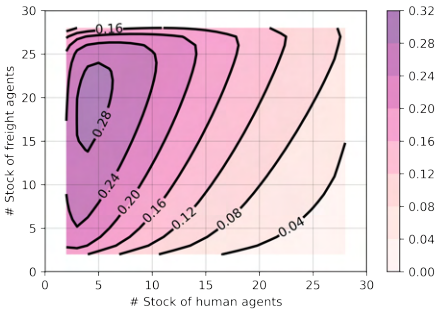
最後に，Flow-Stock サーチの貨客混載に対する応用上の課題について整理する．Flow-Stock サーチでは，ある種のプラットフォームを通じた円滑なマッチング候補との全通りの新旧エージェント間の組をその時点において考慮することになるが，既存のストックは将来的な戦略変更によって過去に一度交渉が発生している相手側のストックと再度交渉する機会は存在しないことになる．しかし，在庫管理の観点では，既存のストックは賞味期限が近づくごとに値下げの可能性が高まることになる．したがって，そのような戦略変更が発生するタイミングにおいては新たに過去の相手エージェントからサーチの対象となることが妥当である．このとき，考慮すべき状態数が増えることに注意して解法の工夫も必要になる．また，もうひとつの特徴として，財は市場に残り続けることはなく，ある時点をもって市場から退出しなくてはならない．これはジョブマッチングとは異なり財は半永久的に価値を持ち続けることができないためである． したがって，マッチングのシナリオに加えて一定時間経過後に自然消滅するような設定が必要になる．



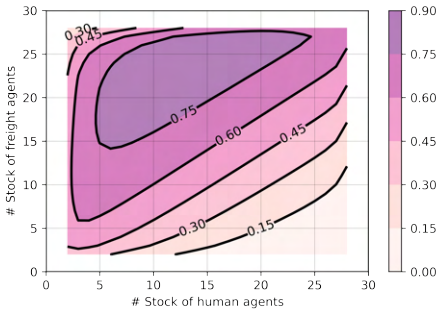
(a) $V_A(H_A, F_A), C_B/C_A = 0.9$



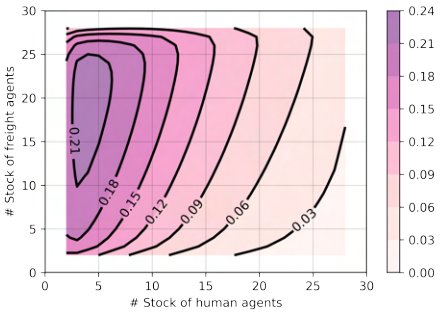
(b) $V_B(H_B, F_B), C_B/C_A = 0.9$



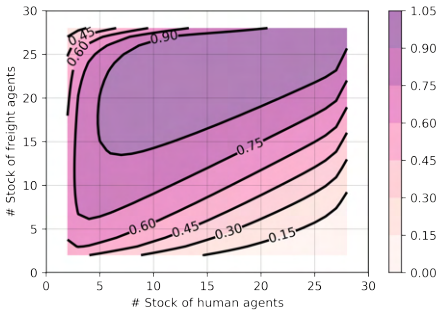
(c) $V_A(H_A, F_A), C_B/C_A = 0.8$



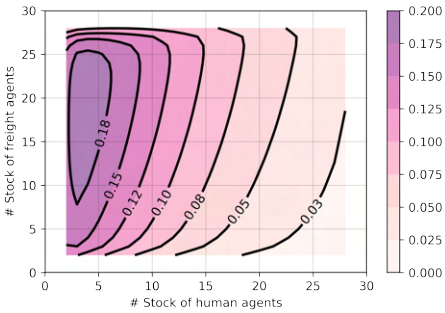
(d) $V_B(H_B, F_B), C_B/C_A = 0.8$



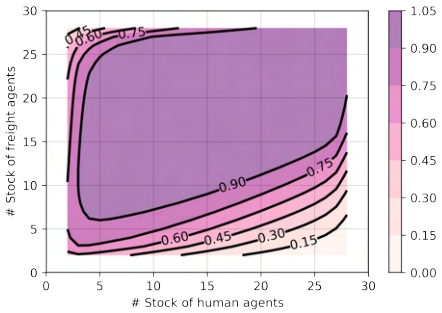
(e) $V_A(H_A, F_A), C_B/C_A = 0.7$



(f) $V_B(H_B, F_B), C_B/C_A = 0.7$



(g) $V_A(H_A, F_A), C_B/C_A = 0.6$



(h) $V_B(H_B, F_B), C_B/C_A = 0.6$

図-3: アクセス費用の比 C_B/C_A ごとの $V_A(H_A, F_A)$(左側) と $V_B(H_B, F_B)$(右側) のコンター図

アクセス費用の比 C_B/C_A	価格係数の比 $\beta_{H,p}/\beta_{F,p}$	ノード A での平均期待利得 $\overline{V_A}$	ノード B での平均待利得期 $\overline{V_B}$	H のノード A への条件付き到着率 $P(\alpha_{H,A}/\alpha_H)$	F のノード A への条件付き到着率 $P(\alpha_{F,A}/\alpha_F)$
90	1.25	0.170	0.309	0.427	0.442
	1.50	0.172	0.304	0.419	0.446
	2.00	0.175	0.295	0.405	0.453
80	1.25	0.126	0.412	0.351	0.381
	1.50	0.130	0.397	0.338	0.391
	2.00	0.135	0.372	0.316	0.407
70	1.25	0.095	0.534	0.276	0.318
	1.50	0.100	0.507	0.260	0.335
	2.00	0.107	0.460	0.238	0.362
60	1.25	0.077	0.639	0.255	0.299
	1.50	0.081	0.646	0.217	0.301
	2.00	0.088	0.553	0.172	0.318

表-5: 価格に関する係数の差が期待利得と条件付き到着率に与える影響

アクセス費用の比 C_B/C_A	アクセス費用係数の比 $\beta_{H,c}/\beta_{F,c}$	ノード A での平均期待利得 $\overline{V_A}$	ノード B での平均待利得期 $\overline{V_B}$	H のノード A への条件付き到着率 $P(\alpha_{H,A}/\alpha_H)$	F のノード A への条件付き到着率 $P(\alpha_{F,A}/\alpha_F)$
90	1.25	0.161	0.328	0.429	0.429
	1.50	0.155	0.340	0.421	0.420
	2.00	0.143	0.367	0.401	0.403
80	1.25	0.112	0.459	0.352	0.351
	1.50	0.103	0.493	0.335	0.333
	2.00	0.089	0.560	0.306	0.302
70	1.25	0.082	0.608	0.301	0.299
	1.50	0.077	0.646	0.300	0.297
	2.00	0.068	0.699	0.300	0.294
60	1.25	0.067	0.701	0.298	0.296
	1.50	0.063	0.721	0.298	0.293
	2.00	0.055	0.744	0.298	0.289

表-6: アクセス費用に関する係数の差が期待利得と条件付き到着率に与える影響

REFERENCES

1) Coles, M. G. and A. Muthoo: Strategic bargaining and competitive bidding in a dynamic market equilibrium, *The Review of Economic Studies*, Vol. 65, No. 2, 1998, pp. 235-260.
2) Ghilas, V., E. Demir, and T. Van Woensel: Integrating passenger and freight transportation: Model formulation and insights. BETA publicatie: Working papers, Vol. 441, 2013.
3) Li, B., D. Krushinsky, H. A. Reijers, and T. Van Woensel: The share-a-ride problem: Peo- ple and parcels sharing taxis. *European Journal of Operational Research*, Vol. 238, No. 1, 2014, pp. 31-40.
4) Mayuzumi, F., K. Hayakawa, and E. Hato: A Dynamic Scheduling Algorithm based on Marginal Contribution in Mixed Passenger-and-Freight Delivery Networks. *In 2022 IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, IEEE, 2022, pp. 3556-3563.
5) Pissarides, C. A.: Equilibrium unemployment theory. *MIT press*, 2000.
6) Burdett, K., S. Shi, and R. Wright: Pricing and matching with frictions. *Journal of Political Economy*, Vol. 109, No. 5, 2001, pp. 1060-1085.
7) McCall, J. J.: Economics of information and job search. *The Quarterly Journal of Eco- nomics*, Vol. 84, No. 1, 1970, pp. 113-126.
8) Stigler, G. J.: The economics of information. *Journal of political economy*, Vol. 69, No. 3, 1961, pp. 213-225.
9) Ebrahimy, E. and R. Shimer: Stock - flow matching. *Journal of Economic Theory*, Vol. 145, No. 4, 2010, pp. 1325-1353.
10) Andrews, M. J., S. Bradley, D. Stott, and R. Upward: Estimating the stock-flow matching model using micro data. *Journal of the European Economic Association*, Vol. 11, No. 5, 2013, pp. 1153-1177.
11) Lagos, R.: An alternative approach to search frictions. *Journal of Political Economy*, Vol. 108, No. 5, 2000, pp. 851-873.
12) Lagos, R.: An Analysis of the Market for Taxicab Rides in New York City. *International Economic Review*, Vol. 44, No. 2, 2003, pp. 423-434.
13) Brancaccio, G., Kalouptsidi, M., Papageorgiou, T., and Rosaia, N.: Search frictions and efficiency in decentralized transportation markets. No. w27300. National Bureau of Economic Research, 2020.
14) Frechette, G. R.: A. Lizzeri, and T. Salz, Frictions in a competitive, regulated market: Evidence from taxis. *American Economic Review*, Vol. 109, No. 8, 2019, pp. 2954-2992.
15) Buchholz, N.: Spatial equilibrium, search frictions, and dynamic efficiency in the taxi industry. *The Review of Economic Studies*, Vol. 89, No. 2, 2022, pp. 556-591.
16) Weintraub, G. Y., C. L. Benkard, and B. Van Roy: Markov perfect industry dynamics with many firms. *Econometrica*, Vol. 76, No. 6, 2008, pp. 1375-1411.
17) Fershtman, C. and A. Pakes: Dynamic games with asymmetric information: A framework for empirical work. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 127, No. 4, 2012, pp. 1611-1661.
18) Nagurney, A.: On the relationship between supply chain and transportation network equi- libria: A supernetwork equivalence with computations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 42, No. 4, 2006, pp. 293-316.

(Received ??? ?? 202?)
(Accepted ??? ?? 202?)

Matching Equilibrium of Freight and Passenger with Flow-Stock Search Theory

Fuga MAYUZUMI

In this study, a matching model of humans and goods is proposed by spatially extending stock-flow search theory, which deals with matching through platforms in the labor market. By defining a supply-demand series on the network in such a way that the arrival process at nodes follows stocks of both sides of agents and the transfer/travel cost, a dynamic equilibrium model of price and location selection through matching is formulated. The heterogeneity between human and freight is incorporated in the utility function of destination choice that affects the arrival rate. Numerical simulations reveals that the bargaining power of humans over the goods accelerates the spatial maldistribution.