

渋滞パターンの縮約に基づくネットワーク制御

Network control based on spatial congestion patterns

東京大学 生産技術研究所 大口研究室 (交通制御工学)

<http://www.transport.iis.u-tokyo.ac.jp/>

佐津川功季



背景と目的

- Microscopic Fundamental Diagram (MFD) :
 - エリア内の存在台数とトリップ完了流率 (エリアからの流出交通量) の関数関係
 - 観測情報 (存在台数) からエリア交通性能をリアルタイムに把握できる
 - ただし, MFD挙動の背後にあるメカニズムは完全にはわかっていない
- 研究の目的 :
 - 渋滞パターンに基づいたMFDの理論解析手法の構築により, その形状決定に関するメカニズムを解明する

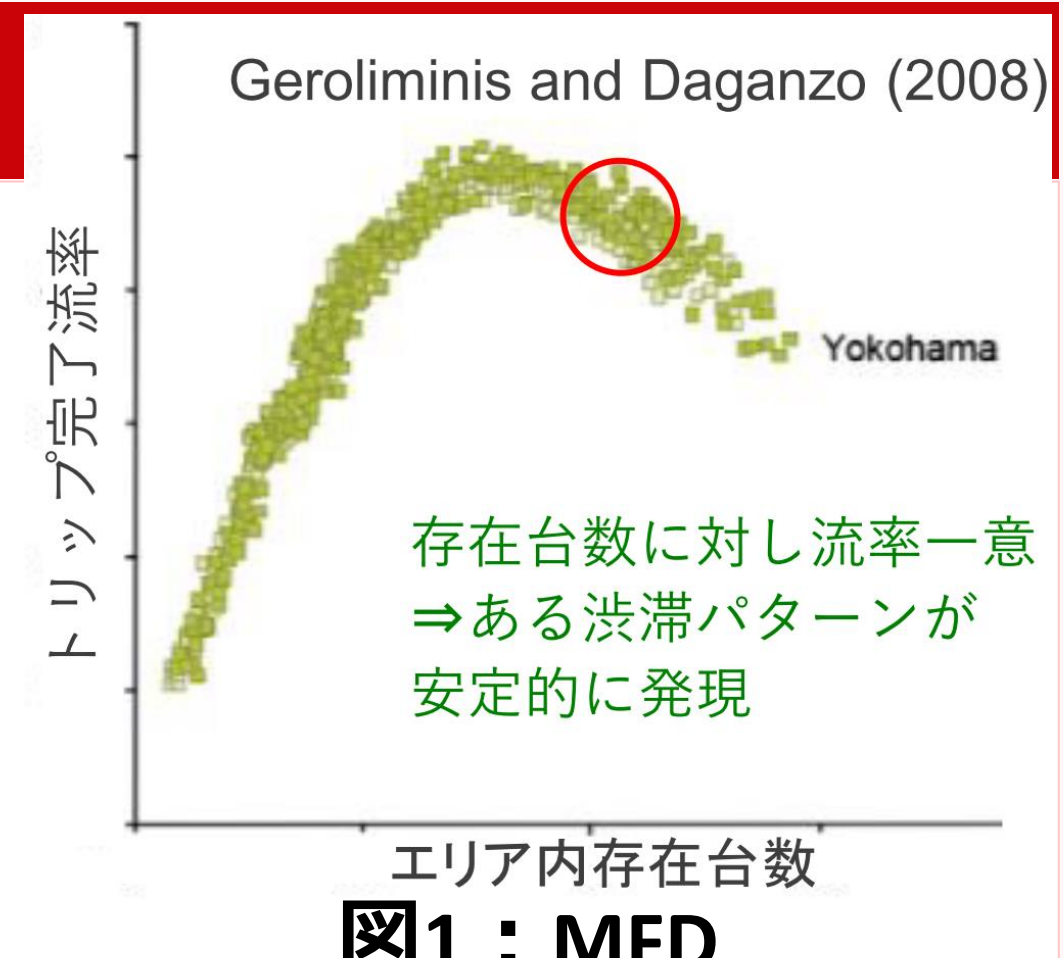


図1: MFD

手法

- 動的利用者均衡(DUE)配分理論の逆問題の定式化

周期境界条件

- ネットワーク内に存在する車両台数が一定となる定常状態を仮定 (MFD理論が想定する交通状態)
- 定常的なトリップ完了流率は, ネットワークへの流入交通流率あるいはOD交通流率に一致
→ 出力が一意に決まる
- この結果, 提案逆問題は線型方程式系で記述される
→ 渋滞パターンとトリップ完了流率の解析的な結びつけ

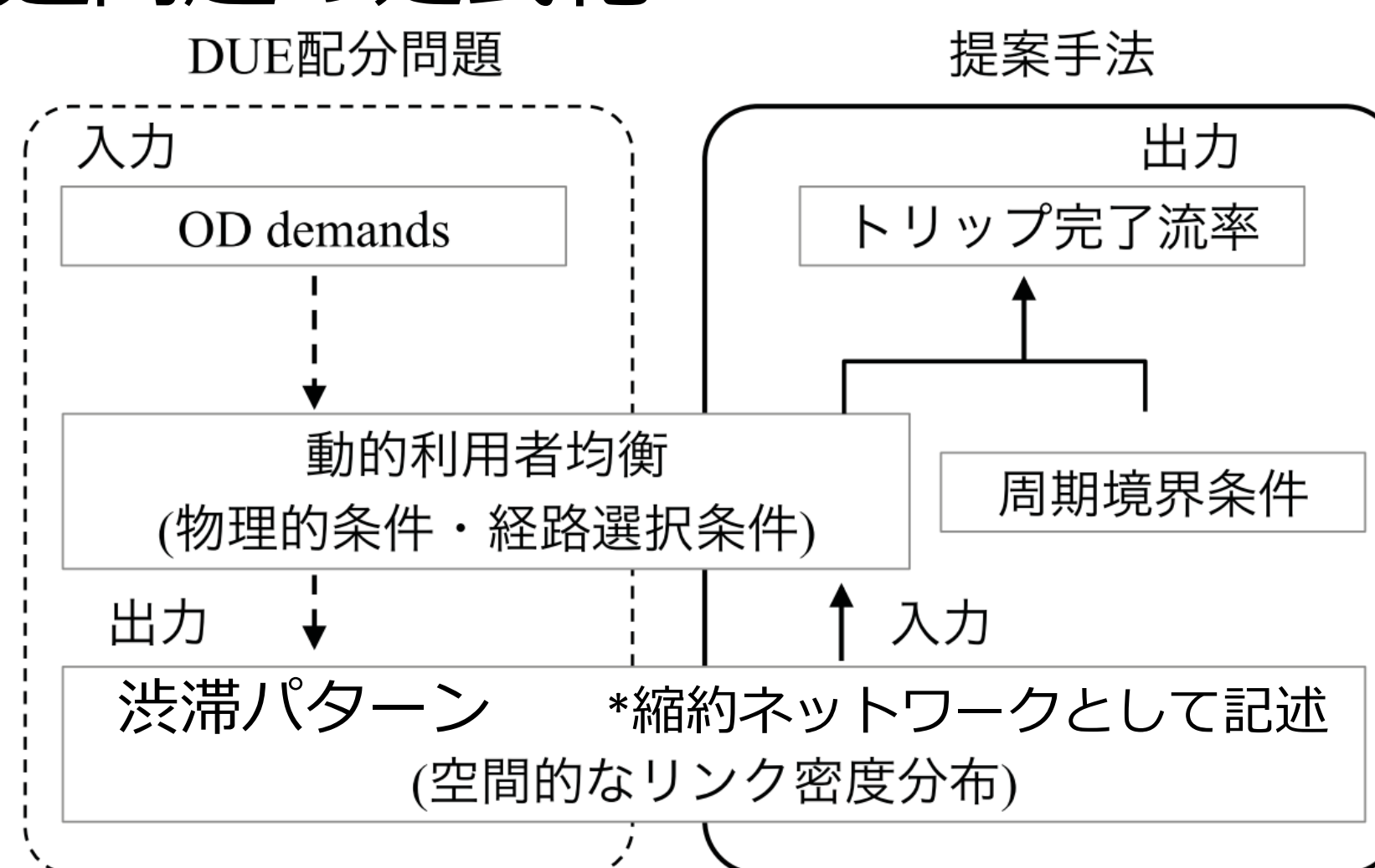
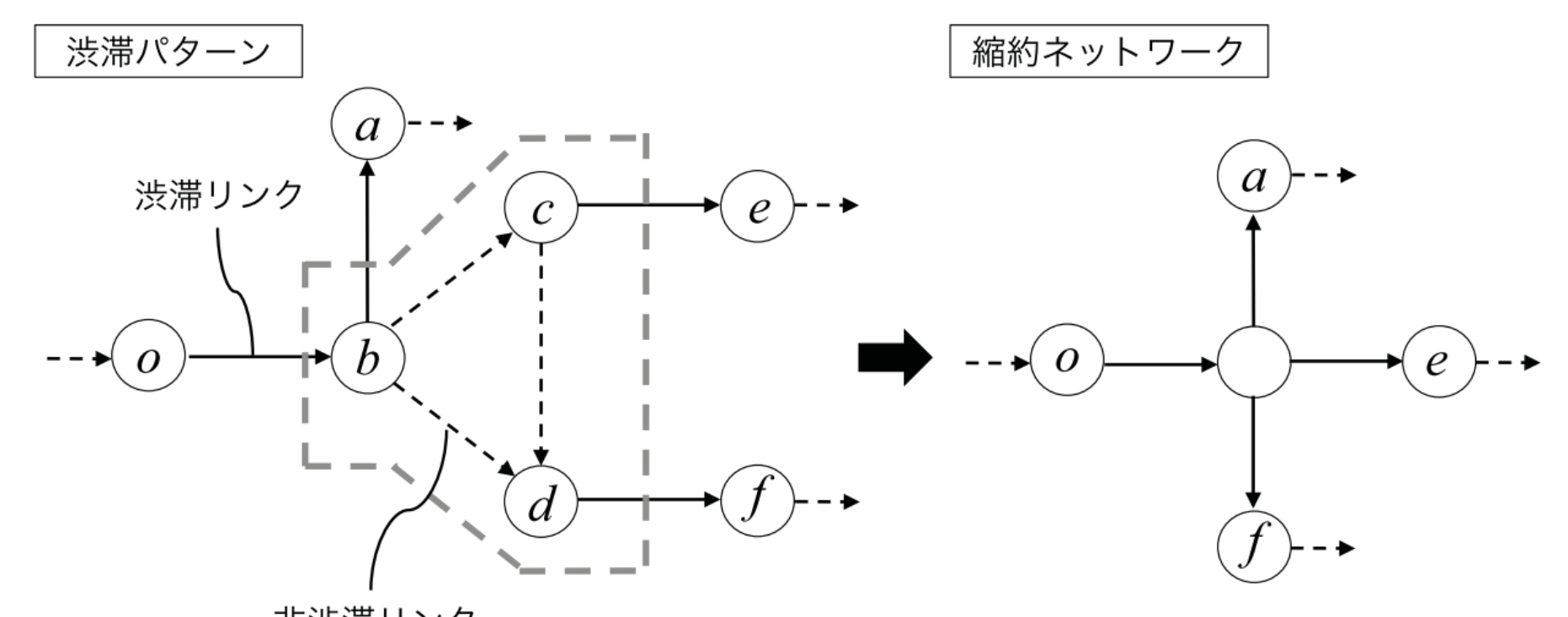


図2: 提案手法の枠組み



縮約ネットワーク

非渋滞リンクの始点と終点ノードをひとつのノードとして集約した (i.e., 非渋滞リンクを取り除いた) ネットワーク

図3: 縮約ネットワーク

- 提案逆問題の解析式 (定常状態における1起点多終点ネットワークのトリップ完了流率)

$$g = A_d M A_{d-}^T \mathbf{1} - (A_d M A_{i-}^T (A_i M A_{i-}^T)^{-1} [A_i M A_{d-}^T \mathbf{1} - \delta_i] + \delta_d)$$

第一項: トリップの完了および通過ノードへの流出

第二項: 第一項のフローのうち, 通過ノードへ流出するフロー

→ 縮約ネットワーク上の各終点ノードについてのフロー保存則に相当

A: 縮約ネットワークにおけるノード・リンク接続行列 (添字: ノード集合に対する部分集合を表す)
i, d: 通過・終点ノードの集合 M: リンク容量の対角行列

【定常状態におけるトリップ完了流率は, 渋滞リンク同士の接続構造およびそれらの容量, OD分布 (起終点ノードの位置) から決まる】

結果

【その1: 感度分析】

- 渋滞の結果生じるリンク容量低下がもたらすトリップ完了流率の低下メカニズムの解明
 - ① 終点のブロッキング
 - ② 経路選択 (通過交通量) の変化
 - ③ 経路選択によるブロッキングの緩和

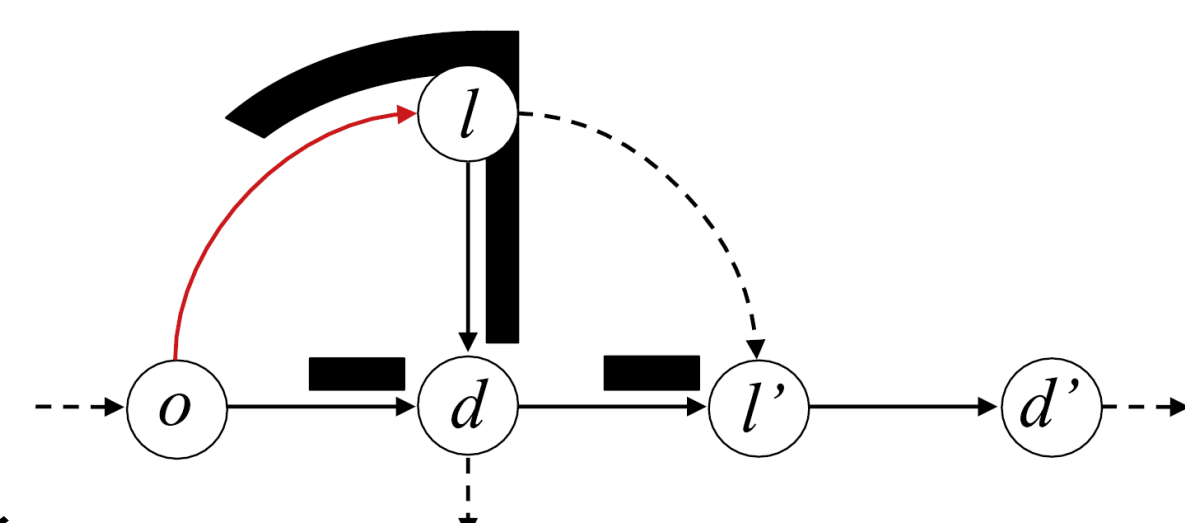


図4: 経路選択の変化

- 交通容量増加のパラドクス解明
リンクの容量増強により終点dを通過する交通量が増加し, dからのトリップ完了流率が低下

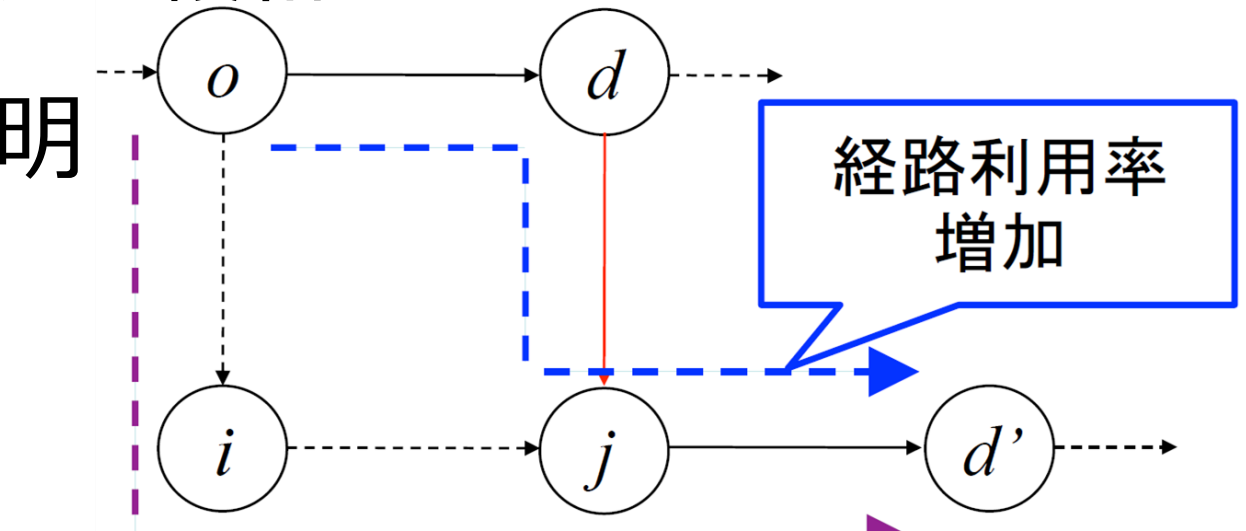


図5: 交通容量増加のパラドクス

【その2: 交通制御とMFDの関係】

- 解明されたメカニズムをもとに, ネットワーク性能の向上を目指した信号制御を考察
 - 渋滞状態にある終点への通過交通を減らす
 - 縮約ネットワーク上の上流ノードの情報から青時間を調整すべき方向を決めることができる

【その3: 数値解析による理論の検証】

- 動的条件下のトリップ完了流率の理論値*は実現値 (NEF) にほぼ一致
- 定常状態においてはネットワークの車両存在台数が増加する局面において, トリップ完了流率を過大評価してしまう
- トリップ完了流率の低下メカニズムの発現が確認された

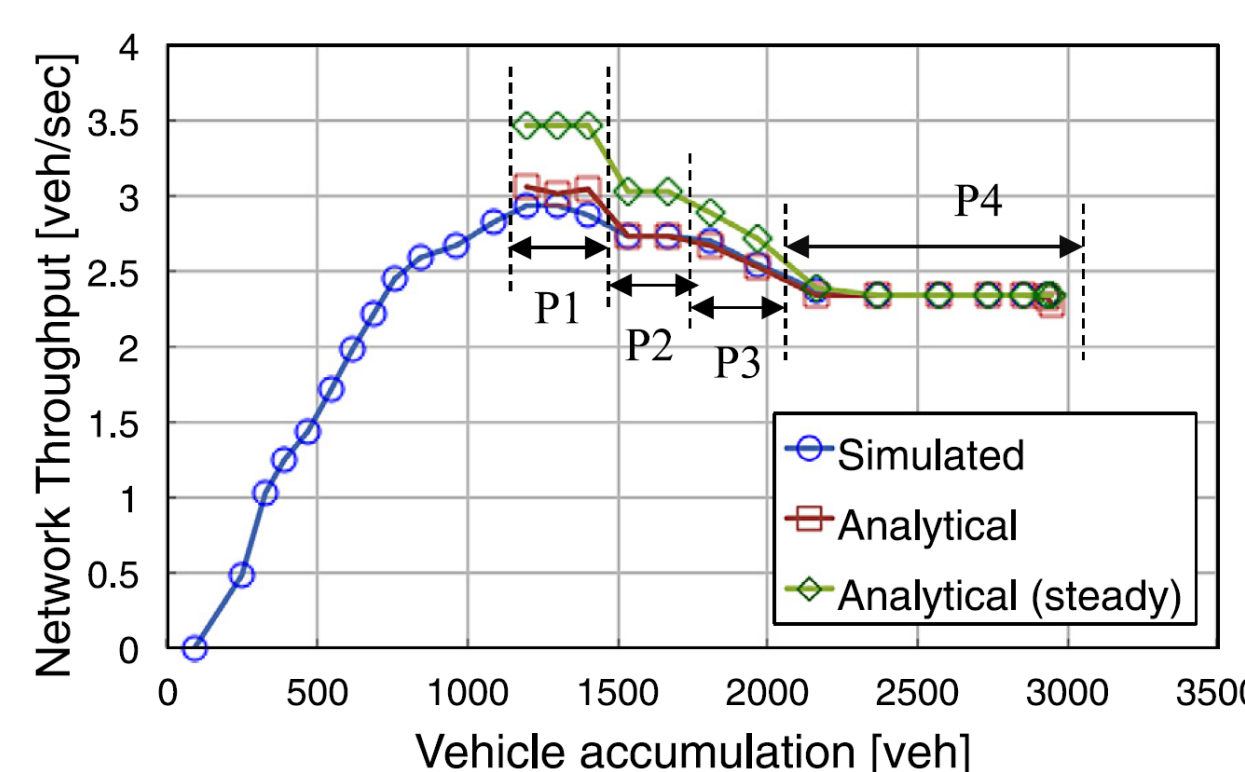


図6: 実現値と理論値の比較

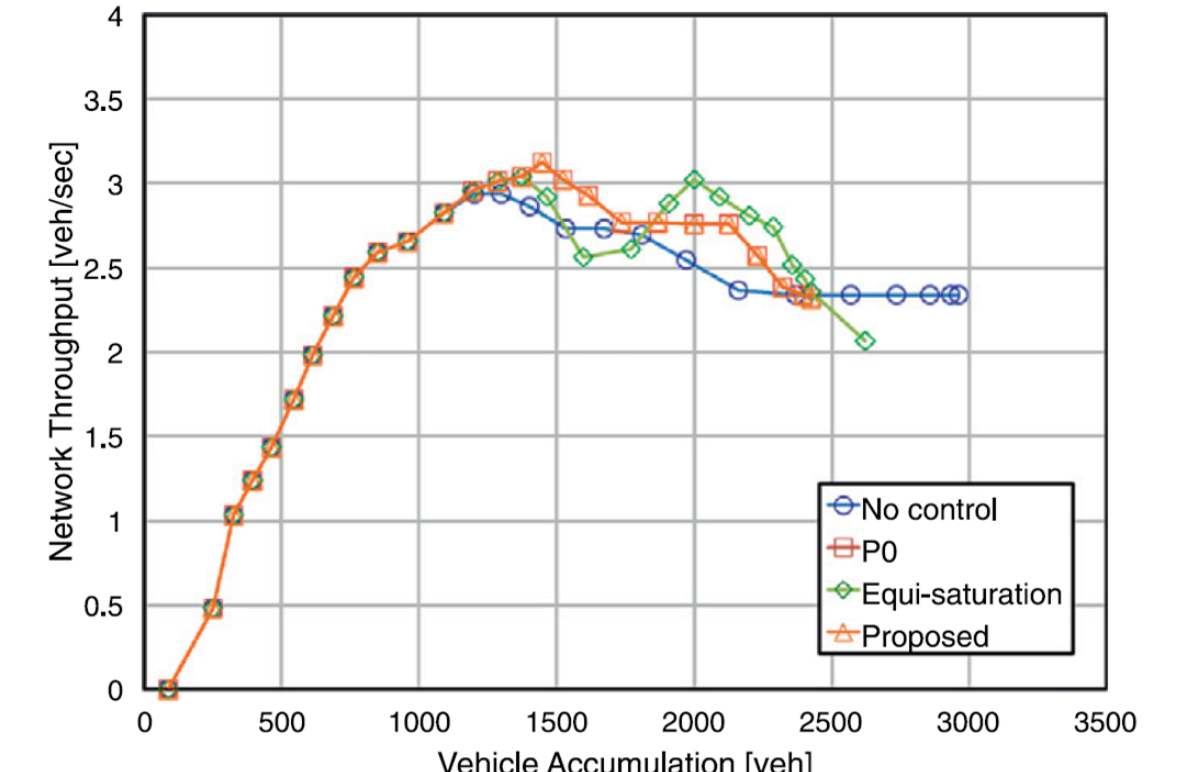


図7: 制御手法の比較

- Capacity maximization policy P0 (Smith, 1979) と本研究の提案による制御は, 制御なしの場合と比べてより高いトリップ完了流率を実現

*DUE条件が近似的に成り立つという仮定のもとで, 動的な条件下におけるトリップ完了流率を導く

結論

- 異なる行先の利用者の関係がネットワークのスループット低下の主要な原因である
- 提案した交通制御はトリップ完了流率の増加をもたらされる

【今後】 実証分析による渋滞パターンとトリップ完了流率の関係性の解明, より一般的な多起点多終点ネットワークへの提案手法の拡張