利用者均衡を考慮した リバーシブル・レーン問題の近似解法

片　山　直　登

1　はじめに

今日まで我が国の自動車保有台数は増加の一途をたどっており，一方，これに対応するための道路整備も積極的に行われている。しかし，道路整備には莫大な費用と時間が必要であるため，都市中心部を中心に道路整備が自動車数の増加に追いつかない状況となっており，各所で交通渋滞が発生している。

道路整備のようなハード的な交通対策に対して，既存の道路網や公共交通を適切・有効に運用することによって，交通混雑を緩和することが期待できる。このようなソフト的な交通対策は，都市交通方策とよばれている。都市交通方策[12]には，交通需要の低減・平準化方策，自動車交通と公共交通の接続方策，公共交通の利便性方策，交通規制・誘導方策，駐車場方策，さらに信号制御・車線の有効利用などが含まれている。

地方中核市においては，バスを除く公共交通機関が未発達のため自動車交通に依存する比率が非常に高い。また，ほとんどの交通が周辺部・都市中心部間に集中し，さらには都市中心部の規模が小さいことも重って，局所的な渋滞が生じている。都市中心部に対する道路整備は困難が伴うため，渋滞を緩和するための様々な都市交通方策が実施され，効果を挙げている。具体的には，都市周辺部の駐車場にて公共交通機関への乗り継ぎを実施するパーク・アンド・ライド方策，朝夕のラッシュ時にバス専用の車線を設定することによってバス交通の定時制を確保するバス専用レーン方策や，朝夕のラッシュ時に一部車線の上下車線数を変えるリバーシブル・レーン方策などである。

都市部では，朝方は都市中心部方向，夕方は郊外部方向の車線が混雑し，逆に反対車線には交通量がほとんどないケースが発生する。リバーシブル・レーン方策は，このような片荷状況に対し，上下方向の混雑状況に応じて，車線進入禁止灯，可変標識や発光式道路鋲などによって道路のセンターラインを変移し，上下方向の車線数の割当て数を

変化させて上下方向の交通容量を適正化して，交通渋滞を緩和する方策である。

リバーシブル・レーンは全国各地で実施され，効果を挙げており，交通渋滞緩和の効果が報告されている[12]。リバーシブル・レーン問題に対する従来の報告・研究も行われてはいるが，これらの多くはリバーシブル・レーンの実施前後の交通状況の検討を行う事例分析[1),4),6),10)]であるか，あらかじめ選定された１つのリバーシブル・レーン区間のみを対象とした基礎的な解析[7]である。

各交通車両は最短時間となる経路を選択する性質があり，完全情報下では始点・終点を同一とする交通は，利用する経路時間が最小となる経路を選択する，すなわち均衡状態になることが知られており，利用者均衡理論[5]とよばれている。したがって，特定区間にリバーシブル・レーンを実施すると，この区間の混雑状況や走行時間が変化するため，この影響は当該区間のみならず，その周辺区間にも及ぶことになる。リバーシブル・レーン区間で，車線数を増加した方向は一時的に混雑が減少するが，中期的にみるとこの区間への交通量が増加し，結果としてリバーシブル・レーン区間に接続する区間に混雑が発生する可能性が生じる。一方，車線数が減少した方向では，一時的に混雑が増加するために迂回交通が発生し，別区間に混雑が発生する可能性が生じる。

以上のことからも明らかなように，リバーシブル・レーン当該区間のみを対象とした分析では，中期的にリバーシブル・レーンが周辺部に及ぼす影響を考慮することは困難である。さらに，交通ネットワーク上に複数のリバーシブル・レーンを設定する場合には，リバーシブル・レーン当該区間のみを対象とした分析では相互の影響を分析することは不可能である。

したがって，リバーシブル・レーン問題においては，交通ネットワーク全体からの分析・解析が必要である。本研究では，交通ネットワーク全体からみたリバーシブル・レーン問題の数理計画による定式化とこの問題に対する近似解法を提案する。さらに，地方中核市である金沢市を対象とした事例分析を実施する。

2　リバーシブル・レーン問題

2.1　リバーシブル・レーン問題の概要

リバーシブル・レーン問題は，交通ネットワーク上で適切なリバーシブル・レーンを実施する道路区間を選定し，リバーシブル・レーンの効果を求める問題である。リバーシブル・レーンの解析的なモデルとしては，動的なシミュレーション的モデルと静的な数理計画的モデルを挙げることができる。前者は時間毎の詳細な車両動向や渋滞状況，交差点における挙動やリバーシブル・レーンの切替状況などのミクロ的な分析できるが，広範囲の分析は困難である。一方，後者はミクロ的な分析はできないが，静的ではあるがネットワーク全体からのマクロ的な解析が可能である。本研究では，交通ネットワー

クにおける適切なリバーシブル・レーンを実施する区間とその効果を測定するため，数理計画を用いたモデル化と解析を行う。

最も一般的な交通計画問題は，利用者均衡問題または交通量配分問題とよばれる問題である。利用者均衡問題は，交通ネットワークと静的なOD交通量が与えられた場合に，各始点・終点間の交通が均衡条件を満足するように，各交通の移動経路を推定するモデルである。一方，リバーシブル・レーン問題では，さらに各道路区間にリバーシブル・レーンを実施するか否を決定する必要がある。このとき，各道路区間にリバーシブル・レーンを実施するか否かで道路区間の交通容量が変化，すなわち交通ネットワークが変化することになる。交通ネットワークが決まれば。利用者均衡問題によって，交通の流れを推定し，リバーシブル・レーンの効果を求めることができる。

交差点や交通の擬似的な発生地点をノード，交通の発生ノードをセントロイド・ノード，ノード間の道路区間をリンクとよぶことにする。各交通は始点のセントロイド・ノードから発生し，終点のセントロイド・ノードに移動するものとし，このノード対をODペアとよぶ。単位時間当たりにODペア間を移動する交通をODフロー，リンク上を移動する交通をリンクフローとよぶ。リバーシブル・レーンを実施するか否かに関する変数をリバーシブル・レーン変数とする。リンクを通過するためにかかる走行時間は，当該リンク上のリンクフロー量とリバーシブル・レーン変数の関数であるリンク走行時間関数によって定められるものとする。リンク走行時間関数は，交通量に対する非減少の凸非線型関数とする。さらに，ODペア間のフローは，利用者均衡条件を満足するものとする。このとき，利用者均衡を考慮したリバーシブル・レーン問題は，交通ネットワーク上の総走行時間を目的関数とし，これを最小化するようなリバーシブル・レーンを実施するリンクを求める問題とする。

2.2 リバーシブル・レーン問題の定式化

ノード集合を N，無方向リンク集合を $L\ (\subseteq N\times N)$ とする。リンク集合の内，リバーシブル・レーンを実施可能なリンク集合を $R\ (\subseteq L)$ とする。セントロイド・ノード対からなるODペア集合を $K\ (\subseteq N\times N)$，リンク (i,j) の $i\to j$ 方向のリンク走行時間関数を f_{ij} とする。ODペア k のOD交通量を q^k，ODペア k の始点のセントロイド・ノードを O^k，終点のセントロイド・ノードを D^k とする。リンク (i,j) のリバーシブル・レーン変数を x_{ij} とする。x_{ij} は，$i\to j$ 方向に1車線拡張する場合に1，通常または1車線削減する場合に0をとる0-1変数とする。ODペア k のリンク (i,j) の $i\to j$ 方向のフロー量を表すフロー変数を y^k_{ij} とする。

利用者均衡を考慮したリバーシブル・レーン問題は，以下のように定式化できる。

[リバーシブル・レーン問題]

$$minimize \sum_{(i,j)\in L}\{f_{ij}(y_{ij},x_{ij},x_{ji})\cdot y_{ij}+f_{ji}(y_{ji},x_{ji},x_{ij})\cdot y_{ji}\} \tag{1}$$

subject to

$$x_{ij}+x_{ji}\leq 1, \quad (i,j)\in R^* \tag{2}$$

$$x_{ij}\in\{0,1\}, \quad x_{ji}\in\{0,1\}, \quad (i,j)\in R^* \tag{3}$$

$$x_{ij}=0, \quad x_{ji}=0, \quad (i,j)\in L\backslash R^* \tag{4}$$

$$R^*=\{(i,j)\,|\,y_{ij}\geq e_{ij}\cdot c_{ij}\ or\ y_{ji}\geq e_{ji}\cdot c_{ij},(i,j)\in R\} \tag{5}$$

$$minimize \sum_{(i,j)\in L}\left\{\int_0^{y_{ij}}f_{ij}(t,x_{ij},x_{ji})\,dt+\int_0^{y_{ji}}f_{ji}(t,x_{ji},x_{ij})\,dt\right\} \tag{6}$$

subject to

$$\sum_{(j,n)\in L}y_{jn}^k-\sum_{(n,i)\in L}y_{ni}^k=\begin{cases} q^k & n=D^k \\ -q^k & n=O^k \quad n\in N,\ k\in K \\ 0 & \text{その他}, \end{cases} \tag{7}$$

$$y_{ij}=\sum_{k\in K}y_{ij}^k, \quad y_{ji}=\sum_{k\in K}y_{ji}^k, \quad (i,j)\in L \tag{8}$$

$$y_{ij}^k\geq 0, \quad y_{ji}^k\geq 0, \quad (i,j)\in L,\ k\in K \tag{9}$$

(1)式は，リンク走行時間とリンクフローの積の総和であり，交通ネットワーク全体の総走行時間を表わす目的関数である。この値を最小にすることを表している。(2)式は，R^* に含まれる同一のリンクにおいて，同時に上下線の車線を拡張することができないことを表わしている。(3)式は，R^* に含まれるリンクのリバーシブル・レーン変数が0-1変数であることを表わしている。(4)式は，R^* 以外のリンクでは，リバーシブル・レーン変数は 0 であることを表わしている。(5)式は，R^* の定義である。この集合は，片方向車線にリンク交通容量の一定値 e_{ij} 倍数以上のリンク交通量が存在するリンクの集合である。ここで，c_{ij} はリンク (i,j) の $i\to j$ 方向のリンク交通容量である。また，e_{ij} は結果的に一定以上の混雑度となるリンクのみをリバーシブル・レーン対象区間とするためのパラメータである。

(6)式は，利用者均衡の目的関数であり，これを最小化することによって，利用者均衡解を求めることができる。(7)式は，フローの保存条件で，与えられた OD フロー量がネットワーク上を移動することを表わす条件である。(8)式はリンク (i,j) 上のリンクフローと各 OD ペア毎のフローの関係を表わし，(9)式はリンクフロー変数が非負であることを表わしている。

リバーシブル・レーン変数は，0 と 1 の組み合せによって，次のようなリバーシブル・レーンを表現している。(x_{ij},x_{ji}) が $(1,0)$ であれば $i\to j$ 方向の車線を 1 車線増加し，$(0,1)$ であれば $j\to i$ 方向の車線を 1 車線増加する。$(0,0)$ であればリバーシブル・レーン

を実施しない。また，(1,1) は(2)式の制約を満足しないため考慮する必要がない。

リンク走行時間関数 f_{ij} は，リンク上の $i \to j$ 方向のリンクフロー量と車線数の関数であり，y_{ij} に関して下に凸，連続で単調増加な関数，x_{ij} に関して減少関数，x_{ji} に関して増加関数とする。

一般的な走行時間関数は，BPR 関数と呼ばれる関数である。t_{ij} をリンク (i,j) のフローが 0 のときの走行時間，a_{ij} と b_{ij} をリンク (i,j) の走行時間に関する定数，c_{ij} を片方向の通常時の交通容量，d_{ij} をリバーシブル・レーン実施時の交通容量の変化量とすると，BPR 関数は次式で表される。

$$f_{ij}(y_{ij}, x_{ij}, x_{ji}) = t_{ij}\left[1 + a_{ij}\left\{\frac{y_{ij}}{c_{ij} + d_{ij}(x_{ij} - x_{ji})}\right\}^{b_{ij}}\right] \tag{10}$$

リンクの交通量が交通容量に比べて少ない場合には，総走行時間が減少したとしても，むやみにリバーシブル・レーンを設定するとかえって，実施上の混乱や周辺部の交通渋滞を発生させてしまう可能性がある。このような状況を避けるため，交通量／交通容量比率を表すパラメータ e_{ij} を用いて交通容量の一定値倍以上の交通量が結果的に存在する場合のみを，リバーシブル・レーンの対象とする。このように，リバーシブル・レーンの対象となるリンクを表した集合が R^* である。

リバーシブル・レーン問題は，目的関数が非線形で，0-1変数を含み，制約条件に最適化問題を含む，2 レベル非線形整数計画問題となる。

3 リバーシブル・レーン問題の近似解法

3.1 問題の分離

前節の定式化で示した通り，リバーシブル・レーン問題は 2 レベルの非線形整数計画問題であり，制約条件に最適化問題を含むため実行可能領域が非凸となる。このため，一般的な解法を用いて厳密的に解くことは困難である。

リバーシブル・レーン問題に関連した問題として，交通ネットワークデザイン問題がある。この問題は，交通容量を拡張するリンクを決定する問題であり，リバーシブル・レーン問題と同様に 2 レベルの非線形計画問題である。交通ネットワークデザイン問題も厳密に解くことは困難であるため，多くの近似解法が提案されている。これらの解法は，基本的には，交通容量を決定する上位問題と，リンクフローを決定する下位問題の 2 つの問題に分離して解く方法である。

本研究で扱うリバーシブル・レーン問題も，同様にリバーシブル・レーンのリンクを決定する上位のリバーシブル・レーン決定問題と，リンクフローを決定する下位の利用者均衡問題に分離することができる。y_{ij}^* を利用者均衡問題の最適解，x_{ij} のベクトルを $\boldsymbol{x}$，y_{ij} のベクトルを $\boldsymbol{y}$ とすると，各問題は次のように表される。

[リバーシブル・レーン決定問題]

$$\underset{\boldsymbol{x}}{minimize} \sum_{(i,j)\in L} \{f_{ij}(y^*_{ij}, x_{ij}, x_{ji}) \cdot y^*_{ij} + f_{ji}(y^*_{ji}, x_{ji}, x_{ij}) \cdot y^*_{ji}\} \tag{11}$$

subject to

$$x_{ij} + x_{ji} \leq 1, \quad (i,j) \in R^* \tag{12}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad x_{ji} \in \{0,1\}, \quad (i,j) \in R^* \tag{13}$$

$$x_{ij} = 0, \quad x_{ji} = 0, \quad (i,j) \in L \backslash R^* \tag{14}$$

$$R^* = \{(i,j) \,|\, y^*_{ij} \geq e_{ij} \cdot c_{ij} \text{ or } y^*_{ji} \geq e_{ji} \cdot c_{ji}, (i,j) \in R\} \tag{15}$$

[利用者均衡問題]

$$\underset{\boldsymbol{y}}{minimize} \sum_{(i,j)\in L} \left\{ \int_0^{y_{ij}} f_{ij}(t, x_{ij}, x_{ji})\, dt + \int_0^{y_{ji}} f_{ji}(t, x_{ji}, x_{ij})\, dt \right\} \tag{16}$$

subject to

$$\sum_{(j,n)\in L} y^k_{jn} - \sum_{(n,i)\in L} y^k_{ni} = \begin{cases} q^k & n = D^k \\ -q^k & n = O^k \quad n \in N, \ k \in K \\ 0 & \text{その他}, \end{cases} \tag{17}$$

$$y_{ij} = \sum_{k\in K} y^k_{ij}, \quad y_{ji} = \sum_{k\in K} y^k_{ji}, \quad (i,j) \in L \tag{18}$$

$$y^k_{ij} \geq 0, \quad y^k_{ji} \geq 0, \quad (i,j) \in L, \ k \in K \tag{19}$$

3.2 リバーシブル・レーン問題の近似解法

リバーシブル・レーン問題は，実行可能領域が非凸であるため，降下法的な解法で最適解を求めることができない。しかし，リバーシブル・レーン変数を決定してしまえば，利用者均衡問題を解くことによって，リンクフローおよび目的関数値である総走行時間を決定することができる。また，リンクフローが求められていれば，リバーシブル・レーン決定問題は容易に解くことができる。したがって，リンクフロー変数を固定し上位問題を解き，求められたリバーシブル・レーン変数を用いて下位問題を解くという手順を繰り返すことによって，実行可能解を求めることができる。このように上位問題と下位問題を交互に解く解法は，交通ネットワーク計画問題では，一般的な方法[3),9)]である。

このリバーシブル・レーン問題の実行可能領域は，その制約条件に最適化問題を含んでいるため凸領域であるとは限らない。したがって，上位問題と下位問題を交互に解く解法では，最適解が得られる保証はされていない。また，解が収束する保証もないと考えられる。しかし，この解法を実証的な面から見ると，リバーシブル・レーン区間を逐次修正しながらリバーシブル・レーンを実施し，各々の場合の交通の流れの状況を把握・分析しながら，適切なリバーシブル・レーン区間を探索していく方法と考えることができる。このため，比較的良い近似解を生成することが期待できる。

・リバーシブル・レーン問題の近似解法の手順

[1] リバーシブル・レーン変数の初期値を設定する。

[2] リバーシブル・レーン変数を固定し，利用者均衡問題を解き，リンクフロー変数および総走行時間値を求める。

[3] [2]で得られたリンクフロー変数を固定し，リバーシブル・レーン決定問題を解き，リバーシブル・レーン変数を求める。

[4] リバーシブル・レーン変数が収束するか，繰り返し回数が一定回数を越えれば，終了する。そうでなければ[2]へ戻る。

手順[1]のリバーシブル変数の初期値には，すべてのリバーシブル変数を0にするとか，現実の状態とするなどが考えられる。手順[2]では，利用者均衡問題を解くことになる。これはFlank-Wolf法[2]などで解くことができるが，解の収束が非常に遅いことが知られている。このため，従来の交通ネットワーク計画問題の研究では，前回のリンクフロー解を初期解に用いることによって，解の収束を速める解法が提案されている。しかし，この方法では，計算時間を短縮することが可能ではあるが，解が局所的に収束してしまう傾向がある。また近年はパーソナル・コンピュータも高速化しているため，前回の解を初期解としなくても，十分高速に解くことができる。したがって，手順[2]では，新たに利用者均衡問題を厳密に解き直すことにする。

手順[3]では，リンクフローを固定すれば，リバーシブル・レーン決定問題はリンク毎の問題に分離できる。このため，各リンクの2つのリバーシブル・レーン変数 (x_{ij}, x_{ji}) を $(0,0)$, $(1,0)$, $(0,1)$ に設定し，各リンクの総走行時間値が最小となる組み合わせが最適な解となる。これらは，それぞれリンク (i,j) にリバーシブル・レーンを実施しない，$i \to j$ 方向の車線を増加する，$j \to i$ 方向の車線を増加することに対応している。ここでは，フロー変数値が固定されているので，R^* も容易に確定することができる。

手順[4]では，終了判定を行っている。解法の性質上，リバーシブル・レーン変数が収束する保証がないため，収束しない場合は一定回数で繰り返しを終了することにする。また，繰り返し得られた解の中で目的関数値が最小である解を最終的な近似解に採用する。

4 事例分析

4.1 事例データ

提案したリバーシブル・レーンモデルとその近似解法を用いて，地方中核市である金沢市の交通ネットワーク対象とした事例分析を行う。交通ネットワークは「石川県道路交通情勢調査報告書[11]」のデータを利用する。このネットワークは，325ノード，1036リ

ンクからなる交通ネットワークである。また,「第２回金沢市圏パーソントリップ調査報告書[8)]」のデータをもとにした秋季の通勤・通学時のOD交通量を利用する。この報告書の本来のセントロイド・ノード数は24ノードであるが，人口比率にしたがって分割した128個のセントロイド・ノード，ODペア数が16384ペアのデータを使用する。この金沢市の交通ネットワークを図１に示す。

リバーシブル・レーンの対象リンクは，片側２車線以上で12時間交通容量7000台以上のリンクとし，すべてのリンクにおいてリバースする車線数を１車線とする。また，リンク走行時間関数はBPR関数とし，すべてのリンクに対して $a_{ij}=1.5$，$b_{ij}=3$ とし，t_{ij} は法定速度時の走行時間，交通容量 c_{ij} は２時間交通容量を利用する。数値計算には，パ

図1　金沢市の交通ネットワーク

ーソナル・コンピュータ GateWay G6 Pentium II 266MHz，Microsoft Fortran Power Station Ver. 4.0コンパイラーを使用する。

4.2 分析結果

はじめに，パラメータ e_{ij} をすべてのリンクについて同一とし，0から2.00まで，0.25毎に変化させて計算を行った。このパラメータは，利用者均衡配分の結果，片側交通容量の e_{ij} 倍以上のリンク交通量が存在する場合のみ，リバーシブル・レーンの対象とすることを表している。この計算結果を図2に示す。

リンク交通量に関係なくリバーシブル・レーンを設置可能とした場合（$e_{ij}=0$）には，リバーシブル・レーンを実施しない現状に比べて，モデル上では総走行時間を15%と大幅に減少できることが示された。しかし，この場合には，182区間ものリバーシブル・レーンを実施する必要があることになり，実現性に問題があると考えられる。$e_{ij}=1.25$の場合には，総走行時間が9.7%減少となり，このときのリバーシブル・レーン区間は30区間であった。また，$e_{ij}=1.50$の場合には，総走行時間が6.7%減少となり，このときのリバーシブル・レーン区間は12区間であった。

$e_{ij}=1.25$と $e_{ij}=1.50$の場合のリバーシブル・レーン区間を図3，4に示す。図3では，リバーシブル・レーン区間がかなり分散し，単独実施区間もいくつか見受けられる。一方，図4では，比較的に現実的な解であることがわかる。この場合，わずか12区間にリバーシブル・レーンを実施することによって，総走行時間が6.7%も減少することになり，リバーシブル・レーンの有効性と，提案した解法によって有効な実施区間を求めら

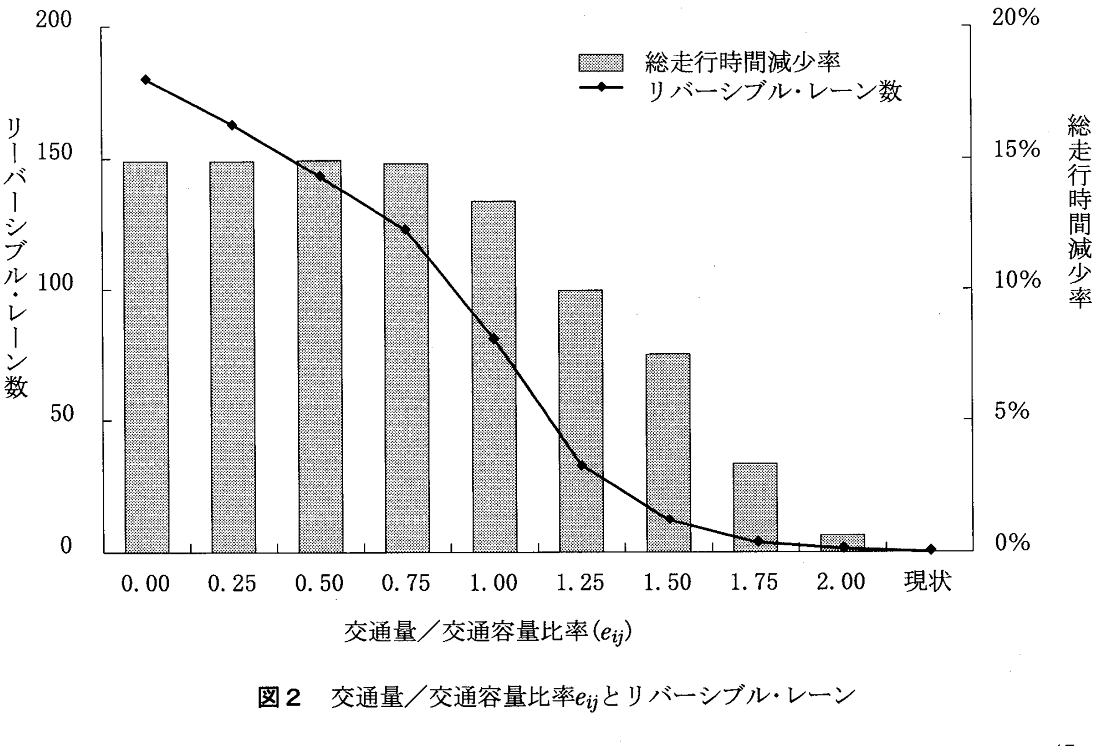

図2 交通量／交通容量比率e_{ij}とリバーシブル・レーン

図3　リバーシブル・レーン(e_{ij}=1.25)

れることが検証された。

リバーシブル・レーンを実施しない現状の場合，現状のリンク交通量をもとにリバーシブル・レーン実施時にリンク交通量の変化を考慮しないものとしてリバーシブル・レーン区間を選定した場合，および本研究の近似解（e_{ij}=1.25）における場合に対する，総走行時間の減少率とリバーシブル・レーン区間数を図5に示す。リンク交通量の変化を考慮しない場合に比べ，繰り返しリンクフローを求めリバーシブル・レーン区間を修正することによって，2.2%だけ総走行時間を減少できる解を得ることができた。

近似解（e_{ij}=1.25）で得られたリバーシブル・レーン実施リンクについて，実施前の交通量と混雑度（リンク交通量／リンク交通容量）と実施後の交通量と混雑度を表1に

図4　リバーシブル・レーン(e_{ij}=1.50)

示す。容量増加方向では，混雑度は減少しているが，交通量自体は大幅に増加している。一方，減少方向では，混雑度は大幅に増加しているが，交通量は減少している。これは，容量を増加した場合には，一時的に混雑が減少するため，中期的には別の交通が流入することが再現されているためである。また，容量を減少した場合には，一時的に混雑が増加するため迂回交通が発生し，交通量が減少することが再現されているためである。リンク (82,222) の交通量が変化していないのは，迂回経路が存在しないためである。このように，単独区間の分析からは得られない結果を得ることができた。

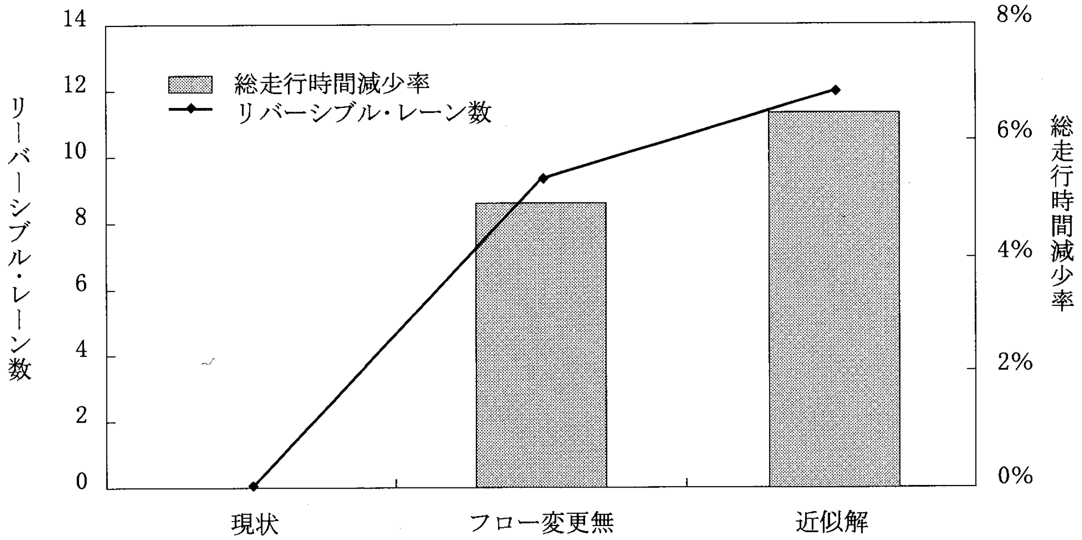

図5 現状と近似解

表1 リバーシブル・レーンの交通量と混雑度の変化

	容量増加方向				容量減少方向			
	実施前		実施後		実施前		実施後	
	交通量	混雑度	交通量	混雑度	交通量	混雑度	交通量	混雑度
(82,222)	3557	2.00	3557	1.33	1279	0.72	1279	1.44
(84,79)	3253	1.85	3848	1.46	758	0.43	703	0.80
(221,76)	5132	1.76	6185	1.41	1380	0.47	1037	0.71
(78,12)	4218	1.71	5841	1.58	1627	0.66	1105	0.90
(223,81)	2981	1.68	3185	1.19	797	0.45	643	0.72
(230,9)	4968	1.66	6342	1.41	1725	0.58	1503	1.00
(79,80)	2740	1.56	3597	1.36	1079	0.61	884	1.01
(222,223)	2692	1.51	3132	1.17	1524	0.86	1151	1.29
(77,78)	4745	1.50	6180	1.30	2317	0.73	1657	1.05
(12,230)	4404	1.47	5812	1.29	1634	0.54	1409	0.94
(76,77)	4515	1.43	6040	1.27	1336	0.42	1050	0.66
(193,221)	4025	1.38	5199	1.19	1395	0.48	1072	0.73

5 おわりに

本研究では，まず交通ネットワーク全体からみたリバーシブル・レーン問題の定式化を行った。この問題は，２レベルの非線形整数計画問題であり，制約条件に最適化問題を含むため実行可能領域が非凸となる。このため，一般的な解法を用いて厳密的に解くことは困難である。次に，この問題に対する近似解法を提案した。これは，上位のリバ

ーシブル・レーン決定問題とリンクフローを決定する下位の利用者均衡問題に分離し，交互に繰り返し解くことによって，近似解を求める解法である。

最後に，地方中核市である金沢市を対象とした事例分析を実施した。この結果，リバーシブル・レーンを12区間に実施することによって，モデル上では総走行時間を6.7%も減少できることがわかった。リバーシブル・レーンのようなソフト的な対策であっても，渋滞・混雑を緩和する高い可能性があることを数値的に示すことができた。

しかし，現実にはリバーシブル・レーンを多数の区間に実施する場合には，信号制御，レーンの切替え時の混乱など様々な状況が発生する可能性があり，解決しなればならない課題は多く存在すると考えられる。なお，本研究は，文部省科学研究費・奨励研究の研究助成により行われた研究成果の一部である。ここに記して感謝したい。

参考文献

1) Agent, K.R. and Clark, J.D. : *Evaluation of Reversible Lanes*, P999A PB Report, 1980.

2) LeBlanc, L.J., Morlok, K.M. and Pierskalla, W.P. : An Efficient Approach to Solving the Road Network Equilibrium Traffic Assignment Problem, *Transportation Research*, Vol. 9, 309-318, 1975.

3) Marcotte, P. : Network Optimization with Continues Control Parameters, *Transportation Science*, Vol. 17, 181-197, 1983.

4) Silianov, V.V. and Khamraiev, D.T. : Traffic Organisation on Three-Lane Roads in the USSR, *14th Int. Traffic Engineering Saf. Study Week*, 143-149, 1982.

5) Wardrop, J.G. : Some Theoretical Aspects of Road Research, *Proceedings Institute of Civil Engineers*, Vol. 14, 1952.

6) 河合　潔：道路交通の渋滞対策-4　面的な交通渋滞対策，交通工学会誌，Vol. 25，No. 5，55-64，1989.

7) 玉田　学：リバーシブルレーン導入の可能性に関する研究，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，499-500，1994.

8) 金沢都市圏総合交通計画調査会：第2回金沢市圏パーソントリップ調査報告書：現状分析編，石川県，1986.

9) 佐佐木　綱，朝倉康夫：OD需要の変動を内生化した最適道路網計画モデル，土木学会論文集，Vol. 383，93-102，1987.

10) 神原俊彦，吉田きよし，常松宏：中央線変移による効果について，中国地方建設局管内技術研究論文集，418-442，1982.

11) 石川県土木部道路建設課：石川県道路交通情勢調査報告書，石川県，1988.

12) 都市交通適正化研究会：都市交通問題の処方箋，大成出版，1995.