



IP・光マルチレイヤTE における トラヒックマトリクス推定の影響

大下 裕一

大阪大学 大学院経済学研究科

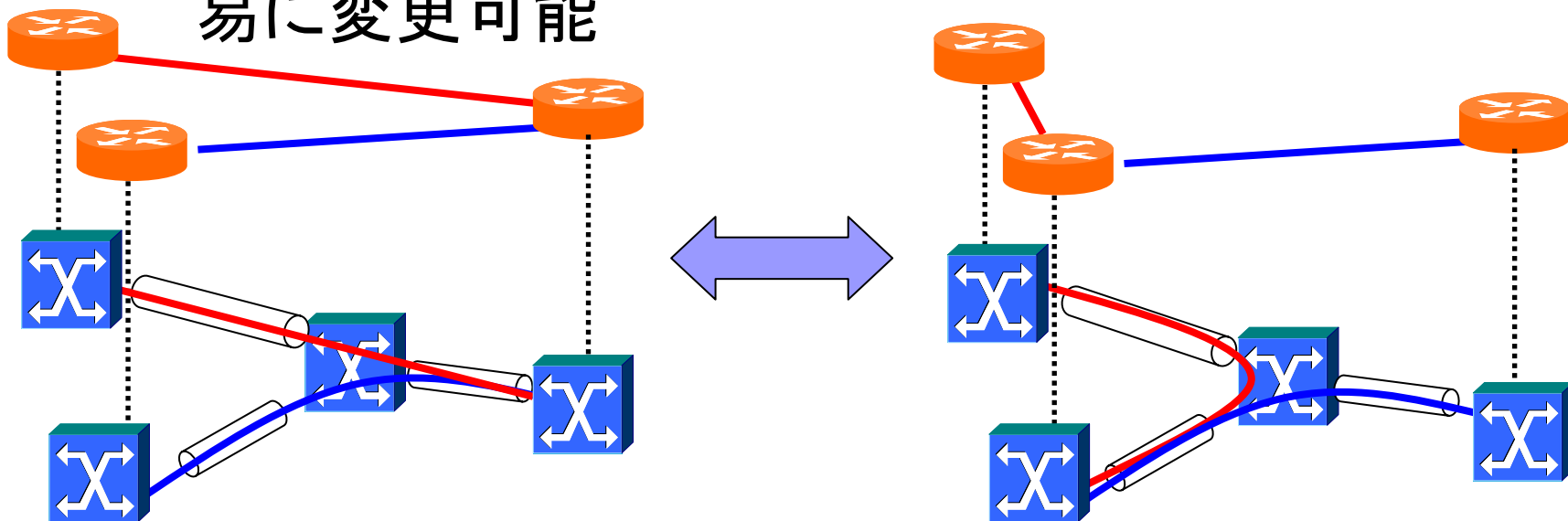
目次

- トラヒックエンジニアリングとトラヒックマトリクス推定の関係
- トラヒックマトリクス推定の影響の評価
- 誤差を軽減する手法の提案・評価

本研究で対象とするネットワーク

■ IP・光ネットワーク

- 光パスで構築されたネットワークはIPレイヤに対して論理トポロジを提供する
- 光パスの追加・削除によって、論理トポロジを容易に変更可能



マルチレイヤトラヒックエンジニアリング (TE)

- IP層・光層をトラヒック需要にあわせて統合的に制御し、トラヒックの收容効率を向上させる
 - 光層では
 - トポロジを組み替えることにより、收容効率の最適化を行う
 - IP層では
 - ルーティングを最適化することにより、收容効率の最適化を行う

マルチレイヤTEの入力

- 各対地間のトラフィック需要(トラフィックマトリクス)
 - 直接観測することは難しい
 - フルメッシュにPacket LSPを構築する必要があり、大規模ネットワークでは適用困難
 - 直接観測可能なリンク使用率から推定する手法も提案されている
 - 大規模ネットワークであっても適用可能
 - ただし、推定誤差が生じてしまう

本研究の目的

- トラヒックマトリクス推定のマルチレイヤトラヒックエンジニアリングへの影響の評価
 - 既存のトラヒックマトリクス推定法で生じる性能低下
 - 誤差の影響の軽減する手法の提案

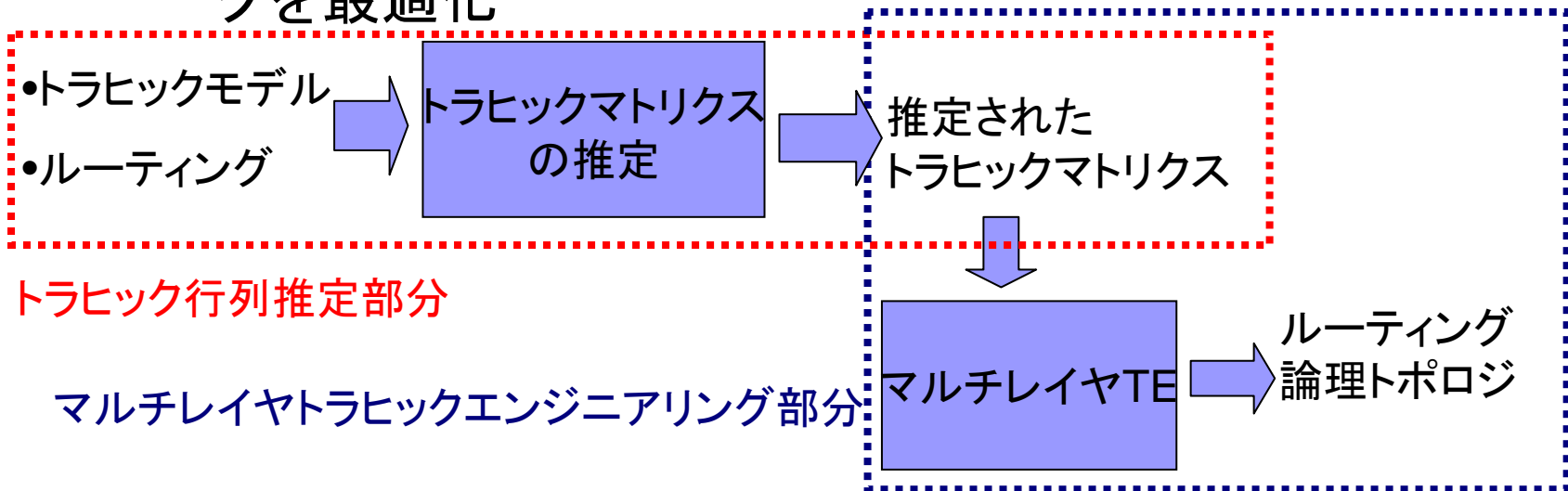
評価方法の概要

■ トラヒック行列推定部分

- エンドノード間のトラヒック量をモデルを元に生成
- 各リンクの負荷からトラヒックマトリクスを推定

■ マルチレイヤトラヒックエンジニアリング部分

- 推定されたトラヒックマトリクスをもとにトポロジ・ルーティングを最適化



評価に用いた推定手法

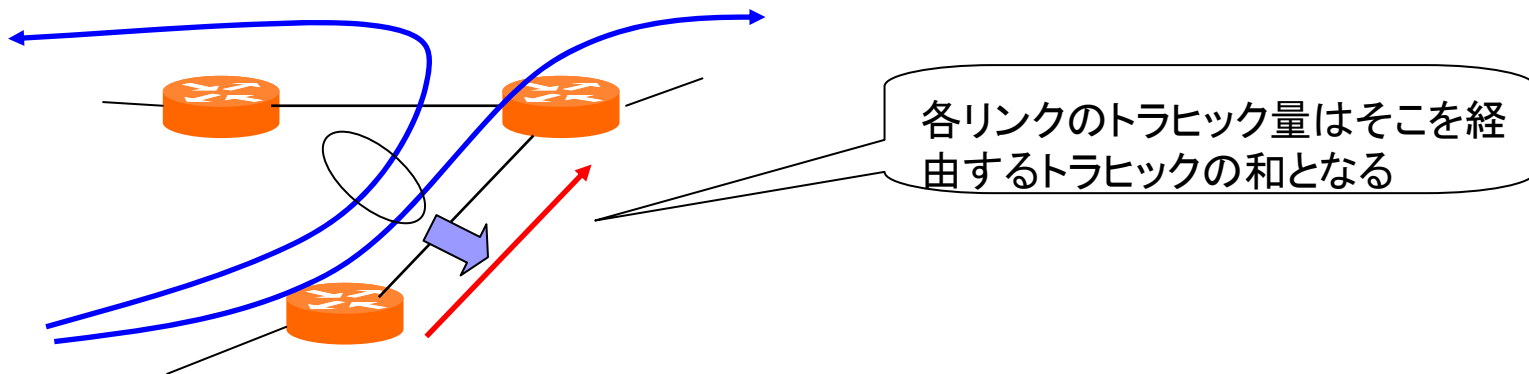
■ Tomogravity法

□ 特徴

- マルチレイヤTEに用いるための要求を満たす
 - トラヒックに急激な変動があっても正確に推定可能
 - 大規模ネットワークにおいても高速に・正確に推定可能

□ 方法

- 入側エッジノード、出側エッジノード両方のトラヒック量に比例すると仮定して一段階目の推定を行う
- 中継リンクのトラヒック量とそこを経由する対地間トラヒックの和が等しくなるように一段階目の推定結果を補正



評価に用いたマルチレイヤTE

■ 最適化問題として定式化

□ 特徴

- 与えられたトラフィック需要に対して、最適解を求めることができる
 - 手法に依存しない誤差の影響を調べることが可能

□ 定式化方法

■ 制約条件

- 各IPルータで経由可能なトラフィック量の上限
- リンク負荷の最大に対する上限

■ 目的関数

- 最大収容可能トラフィック量の最大化

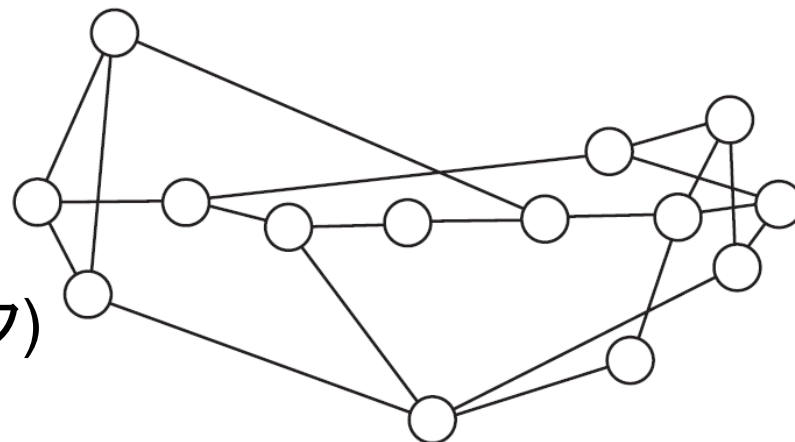
評価に用いた環境

■ ネットワーク

- NSFnet (14 ノード、21リンク)
- 最大波長数 4
- ルータの負荷の最大値: 40Gbps
- リンク使用率の最大値: 0.5

■ トラフィック要求量

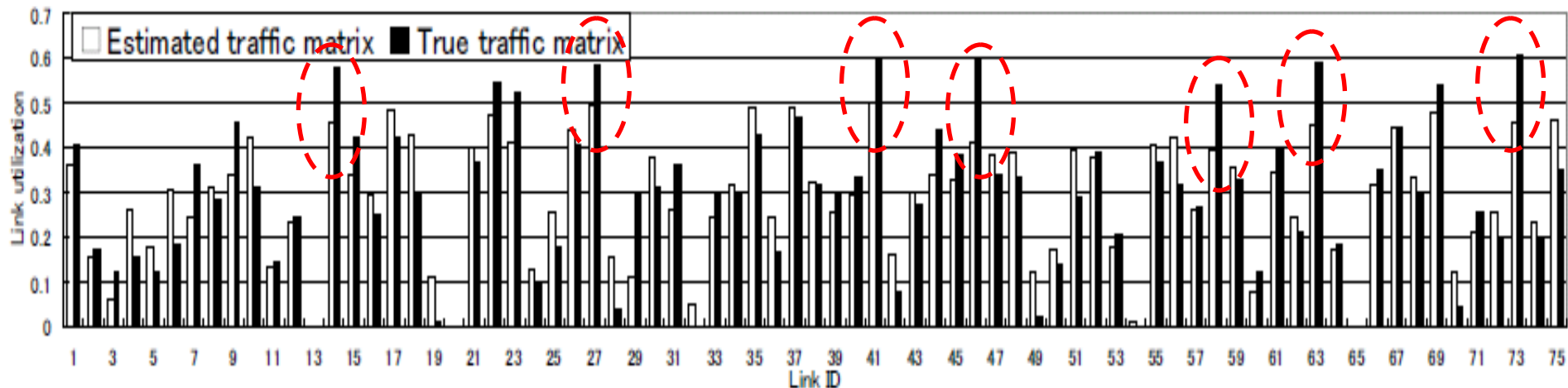
- ランダムに生成
 - 推定が最も難しく、推定誤差の影響が出やすいため



リンク利用率への影響

■ 推定されたリンク利用率よりも実際は高くなる箇所が存在

- リンク利用率を予想ほど下げることができない
- 予想外の輻輳が発生してしまう可能性



マルチレイヤTE以外との影響の比較

- 4種類のTE手法との影響の大きさの比較
 - TEなし
 - パケットレイヤTEのみ
 - 光レイヤTEのみ
 - マルチレイヤ TE
- 比較指標
 - TE後の最大リンク使用率の推定値と実測値の比
 - TEへの誤差の影響の大きさ
 - 収容可能なトラヒック需要の最大値
 - 誤差を含んだトラヒックマトリクスを用いた場合のTEの性能

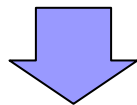
比較評価結果

- マルチレイヤTEは推定誤差があっても収容可能トラフィック量を最も向上させることができる
- マルチレイヤTEは推定誤差の影響は最も大きい
 - TE手法の中で、もっとも著しく経路が変わり、推定時に観測されたルーティングの状況と大きく異なるようになるため

	実測値と推定値の比	最大収容可能トラフィック量
TEなし	N/A	99Gbps
パケットレイヤTE	1.05	100Gbps
光レイヤTEのみ	1.09	100Gbps
マルチレイヤTE	1.21	119Gbps

TEの性能をさらに向上させるには

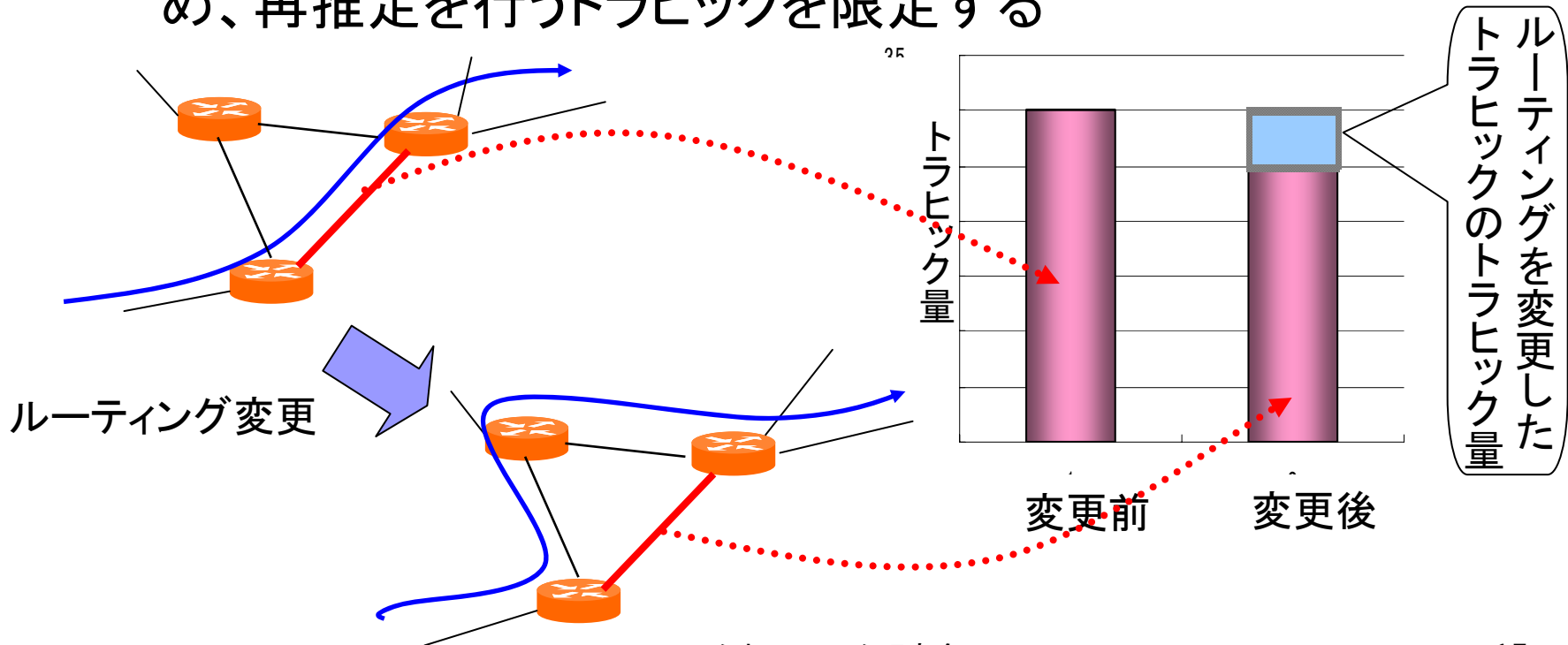
- マルチレイヤTEは誤差の影響が大きい



- 誤差を縮小させることができれば、TEの性能も向上する
 - ルーティングを変更させることにより、一部の対地間トラヒックを正確に推定しなおす手法を提案

トラフィックマトリクス再推定手法

- トラフィックマトリクスの要素のうち、一部を推定しなおす
 - エンド間トラヒッカー本のみルーティングを変更し、そのルーティング変更前後のトラフィック量を観測する
 - すべての対地間のトラフィックを再推定すると時間がかかるため、再推定を行うトラフィックを限定する



再推定したトラヒックマトリクスを用いたTE

■ 手順

1. Tomogravity法を用いてトラヒックマトリクスを推定する
2. トラヒックマトリクスのうち、再推定を行う対地間トラヒックを選択する
3. 再推定を行う対地間トラヒックをすべて再推定し、再推定した値と置き換える
4. 3で得られたトラヒックマトリクスを用いてTEを行う

再推定後のトラヒックマトリクスを用いたTEの評価

- **トラヒックの一部を再推定することにより、TEの性能がどれだけ向上したのかを評価する**
 - **比較指標**
 - TE後の最大リンク使用率の推定値と実測値の比
 - 収容可能なトラヒック需要の最大値
- **評価の環境**
 - **ネットワーク・TEのパラメータ**
 - Tomogravityと同様

評価に用いた再推定を行う箇所を選択方法

- 手法1: ランダムに再推定を行うトラヒックを選択
- 手法2: ホップ数が多い箇所から選択
 - ホップ数が多い箇所ほど、より多くのリンクのリンク使用率に影響を与えるため
- 手法3: 実際よりもずっと小さめに推定されている箇所から選択
 - 小さめに推定されるということが、リンク使用率の実際の値が推定値よりも大きくなる原因となるため
- 手法4: 推定誤差の絶対値が多い箇所から選択
 - 推定誤差をもっとも削減できる
- ◆ 再推定の効果の検証が主眼にあるため、ここでは誤差の大小も分かっているものと仮定する

誤差縮小による性能向上

- 誤差を縮小させることが最大収容可能トラヒック量を向上させるとは限らない
- 推定値と実測値の比を小さくすることが最大収容可能トラヒック量を向上させるとは限らない
 - 小さめに推定された箇所のみを真の値と置き換えると、再構成後のリンク使用率が大きめに推定され、不必要に波長資源を分配してしまうため
 - ➡ 大きめに推定された箇所と小さめに推定された箇所をバランスよく再推定することが必要

	推定値と実測値の比	最大収容可能トラヒック量
真のトラヒックマトリクス	N/A	142 Gbps
Tomogravity	1.21	119 Gbps
ランダムに選択	1.49	99 Gbps
ホップ数で選択	1.30	106 Gbps
小さめに推定された箇所を選択	1.00	110 Gbps
推定誤差が大きい箇所を選択	1.14	130 Gbps

まとめ

- 推定されたトラヒックマトリクスを用いたマルチレイヤTEの性能評価
 - マルチレイヤTEは、誤差の影響が大きい
 - マルチレイヤTEは、推定されたトラヒックマトリクスを用いても収容効率を向上可能
- ルーティング変更により、トラヒックマトリクスの一部を再推定する手法の提案・評価
 - TEの性能を向上させるには、再推定する箇所をバランスよく選ぶ必要がある