



# トラヒックマトリクス推定との協調 による段階的なVNT再構成

大下 裕一

大阪大学 大学院経済学研究科

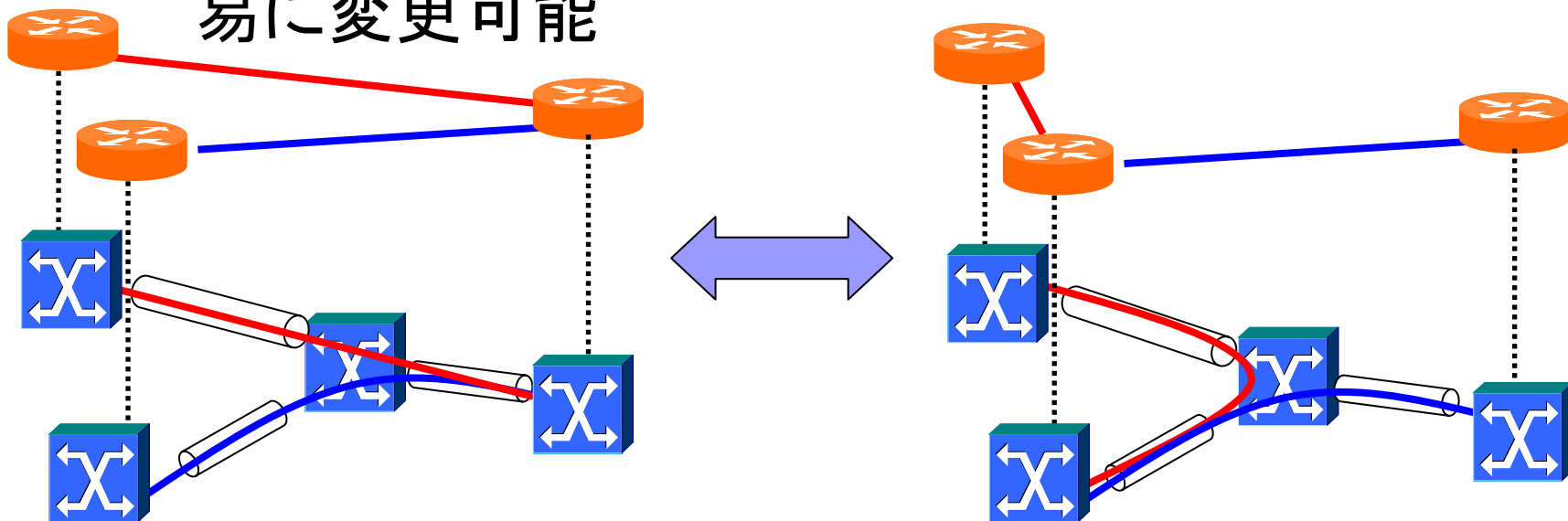
# 目次

- VNT再構成とトラヒックマトリクス推定の関係
- 推定誤差を考慮した段階的VNT再構成手法
  - 追加・削除する光パスの本数を制限した再構成手法
  - 光パスの追加・削除後のリンク使用率の観測結果をフィードバックする推定手法
- 評価
- まとめ

# 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



# マルチレイヤトラフィックエンジニアリング (TE)

- IP層・光層をトラフィック需要にあわせて統合的に制御し、トラフィックの収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、収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、収容効率の最適化を行う

# マルチレイヤTEの入力

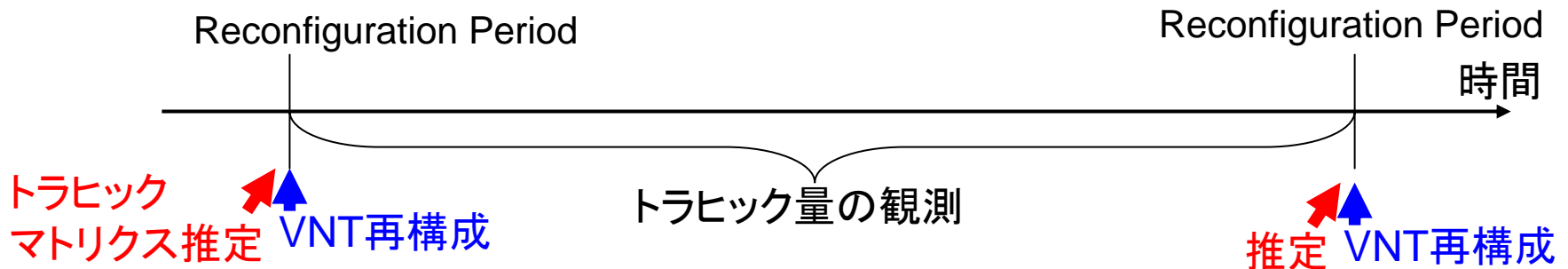
- 各対地間のトラフィック需要 (トラフィックマトリクス)
    - 直接観測することは難しい
      - フルメッシュにPacket LSPを構築する必要があり、大規模ネットワークでは適用困難
- ↓
- 直接観測可能なリンク使用率から推定
    - 大規模ネットワークであっても適用可能
- ↓
- **推定誤差がTEの性能に悪影響を与える**

# 本研究の目的

- 推定誤差の悪影響を受けず、推定されたトラヒックマトリクスを用いてVNT再構成を行う手法の構築
- 手法
  - 段階的再構成
    - 再構成後の観測結果を推定結果にフィードバックしながら再構成を行うことが可能

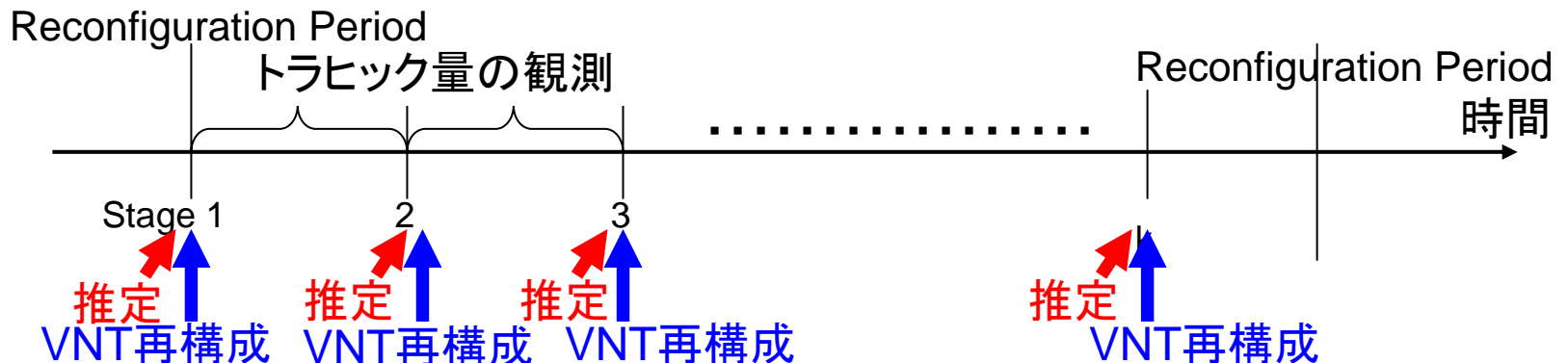
# 提案手法の概要

- 再構成の度に最適なVNTへ移行すると
  - 推定誤差の悪影響が大きい



- 提案する段階的再構成手法

- ステージに分けて段階的に再構成を行う
  - 各ステージで推定誤差の影響をフィードバックしながら再構成可能



# 提案手法における推定とVNT再構成の関係

- VNT再構成をステージに分け、各ステージでトラフィックマトリクス、VNT再構成を繰り返す

トラフィックマトリクス推定

VNT再構成

VNT再構成後のトラフィックの観測結果を用いる

- 推定精度を向上

追加・削除する光パスの本数を制限

- 推定誤差が影響する範囲を限定



# VNT再構成手法

- 以下の条件に合い、できるかぎり少ない光パスで構築されるVNTを求める
  - 1ステージ内で追加・削除可能な光パスの本数を $N_r$ 以下
  - 最大リンク使用率が $T_h$ 以下
- 手順
  - 以下の手順を $N_r$ 回繰り返す
    - 推定されたトラフィックマトリクスをもとにリンク使用率を計算
    - 最大リンク使用率が $T_h$ 以上であれば
      - リンク使用率が最大のリンクを経由している対地間トラフィックのうち、トラフィック量が最大の対地間に光パスを追加
    - 最大リンク使用率が $T_h$ 以下であれば
      - リンク使用率が小さいリンクから順に削除可能かをチェックし、削除可能であれば削除する

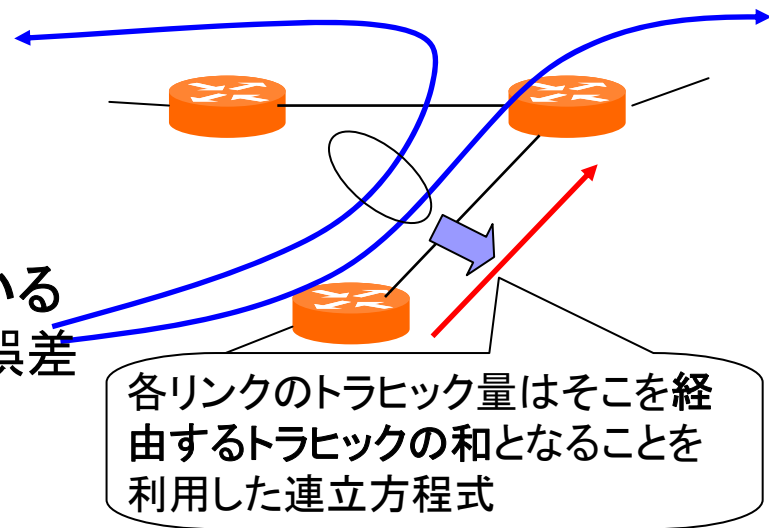
# トラフィックマトリクス推定手法の概要

## ■ 一般的なトラフィックマトリクス推定手法:

- 各リンクのトラフィック量を元に以下の連立方程式をたて、その条件にあうトラフィックマトリクスを求める

$$X = AT$$

- X:各リンクのトラフィック量
- A:ルーティングを表す行列
- T:トラフィックマトリクス
- トラフィックマトリクス推定に用いている連立方程式の数が少ないために誤差が生じる



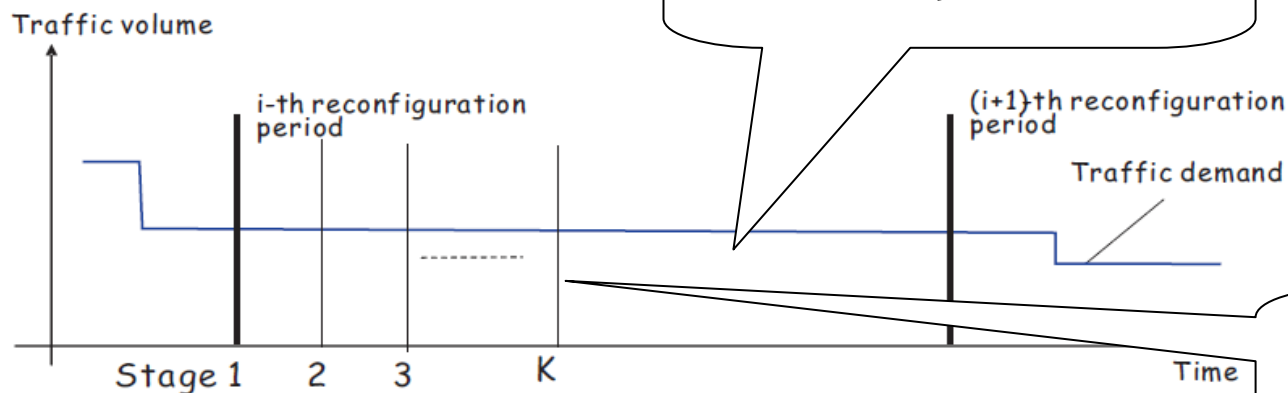
- VNT再構成前後の観測結果を用いることにより、推定に用いる条件を増やす

# 推定に追加可能な情報

- VNT再構成前後でのリンク使用率の変化
  - VNT再構成前後で変化したリンク使用率  
＝ルーティングが変化した対地間トラヒックの量
- リンク使用率の予測値と実測値の差分
  - VNT再構成後の予想値と実測値の差分  
＝前のステージでの推定誤差

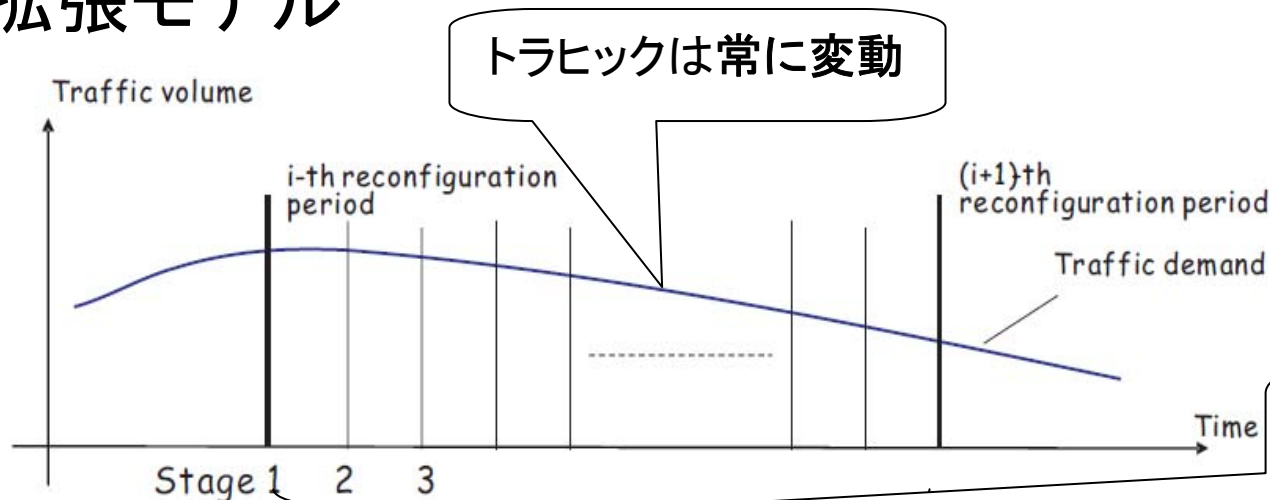
# 想定するモデル

## ■ 基本モデル



適切なVNTに移行できた時点で再構成を終了

## ■ 拡張モデル



トラフィックの変動に追  
随するため、  
常に再構成を行う

# 推定方法～基本モデル～

- 各ステージでの観測結果を連立方程式を追加

$$\begin{bmatrix} X_0 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_0 \\ \vdots \\ A_n \end{bmatrix} T$$

$X_n$ : ステージnのリンク使用率  
 $A_n$ : ステージnのルーティング

- 追加した方程式は擬似逆行列法を用いて解く
- 追加した方程式には以下のいずれの情報も含まれる
  - VNT再構成前後でのリンク使用率の変化
  - リンク使用率の予測値と実測値の差分
    - 前のステージで推定に用いた情報がすべて含まれているため

# 推定手法～拡張モデル～

## ■ 基本モデルとの相違点

### □ トラヒックが変動する

- トラヒックの変動  $\Delta T_i = T_i - T_{i-1}$  を考慮した以下の関係式を用いて推定

$$X_i = A_i T_n - A_i \sum_{k=i+1}^n \Delta T_k$$

$T_n$  : ステージnの  
トラヒックマトリクス

### □ 常にVNT再構成が行われる

- 最近mステージ以内の情報に限定

時刻iからnまでのトラヒックの  
変化量

## ■ 解法

### □ 連立方程式を追加する

### □ リンク使用率の予想値と実測値の差分をフィードバックする

# 条件追加法

## ■ 各ステージでの観測結果を連立方程式を追加

$$\begin{bmatrix} X_{n-m+1} \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{n-m+1} \\ \vdots \\ A_n \end{bmatrix} T_n - W_n$$

$W_n$ : 各ステージからステージnまでの  
のトラヒックの変化量

- $W_n$ を観測不能なノイズとして扱いGauss-Markov推定法によって、重み付けして解く
- この連立方程式には、リンク使用率の予測値と実測値の差分の情報含まれない
  - 前のステージの推定で用いられた情報のうち含まれていないものが存在するため

# フィードバック法

- リンク使用率の予想値と実測値の差分をフィードバックする
  - リンク使用率の予想値と実測値の差分は、以下の式で表される

$$X_n - A_n \hat{T}_{n-1} = A_n (T_n - \hat{T}_{n-1})$$

$\hat{T}_n$  : ステージnのトラヒックマトリクスの推定値

リンク使用率の予想値

## 手順

1.  $T_n - \hat{T}_{n-1}$  の推定値  $\hat{D}_n$  を上式から推定する
2. 推定された  $\hat{D}_n$  を用いて、ステージnのトラヒックマトリクスを求める

$$T_n = \hat{T}_{n-1} + \hat{D}_n$$



# 性能評価

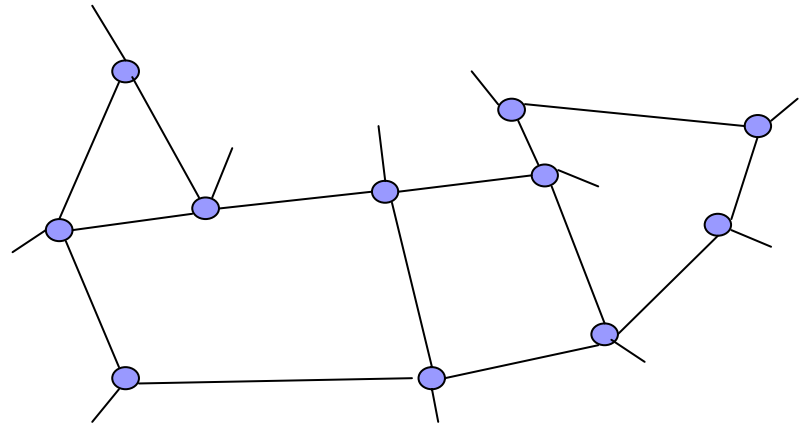
## ■ 性能評価の環境

### □ トポロジ

- Abileneのバックボーントポロジ
- 最大波長数:64

### □ トラフィックデマンド:

- Abileneで観測されたトラフィックデマンドに急激な変動を加えたもの
  - VNTの再構成が必要な環境を作るため



## ■ 評価指標

### □ トラフィックマトリクス of 推定誤差

- 提案手法の推定精度向上の有効性の確認

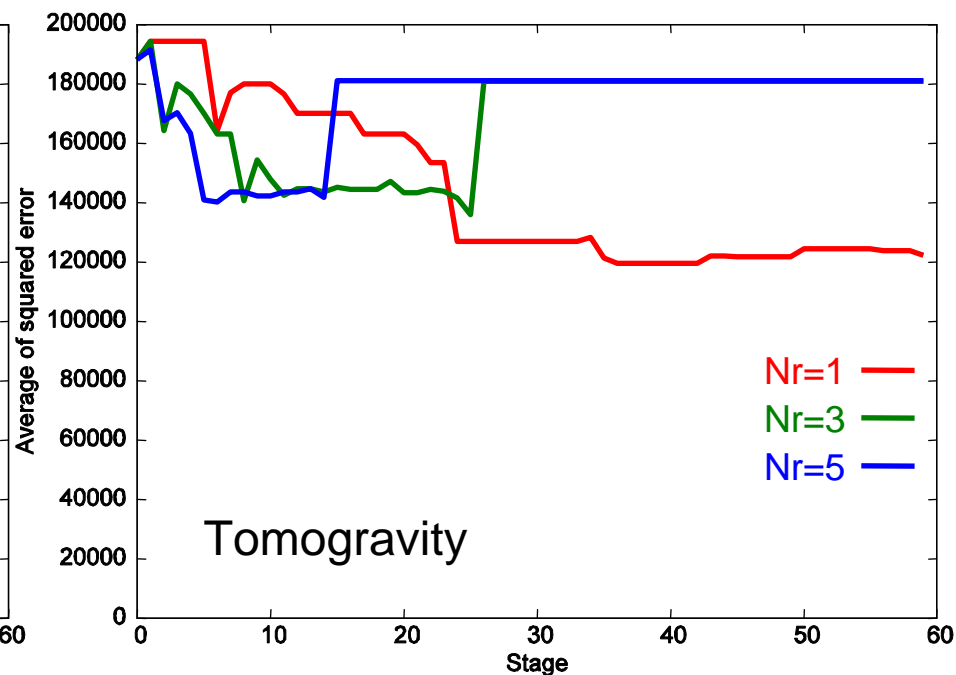
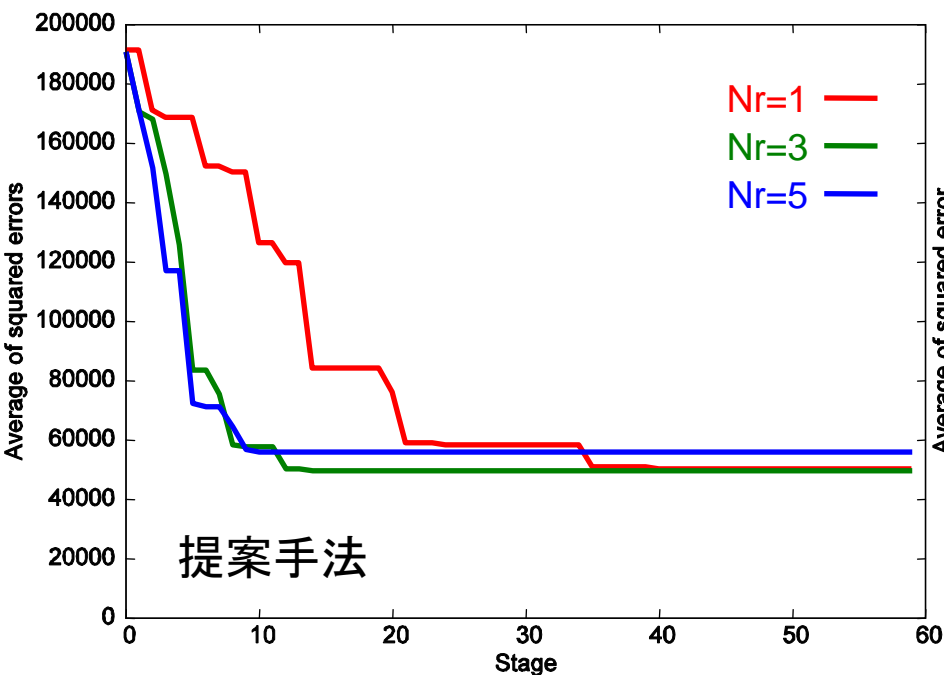
### □ 構築された光パス数の最大数

- VNT再構成自体の性能の向上を確認
- 光パス数が多ければ多いほど、再構成に必要なコストが高い

# 推定結果～基本モデル～

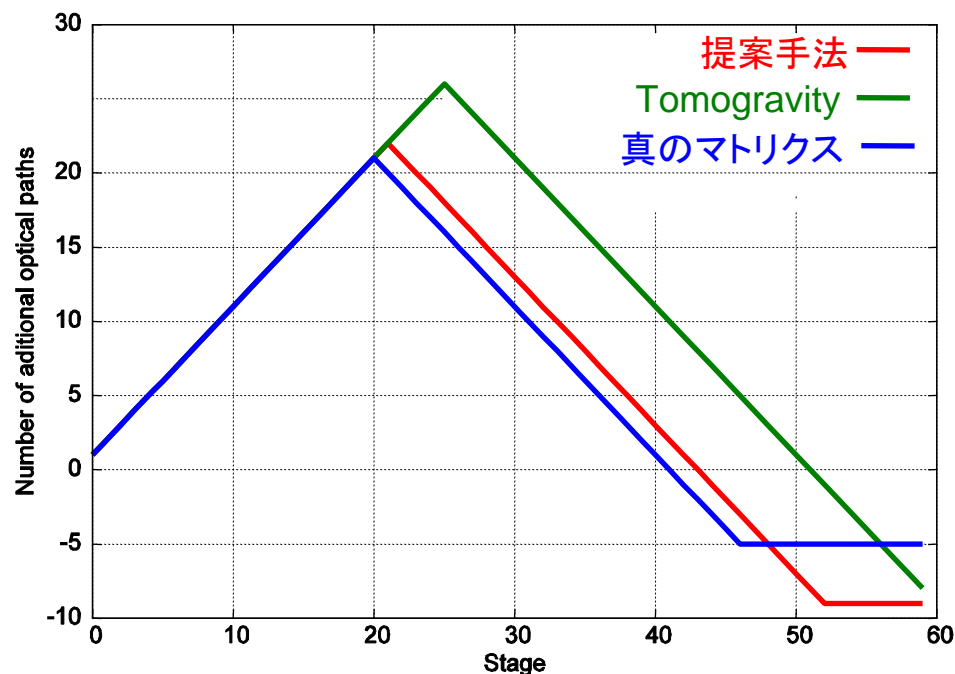
## ■ Tomogravity法の推定精度と比較

- 提案手法はステージ数が経過するほど推定精度が向上
- 提案手法では、Nr(各ステージで追加・削除)される光パスの本数が少ないほうが、最終的な推定精度を向上可能
  - より多くの回数、ルーティングの変更が発生するため



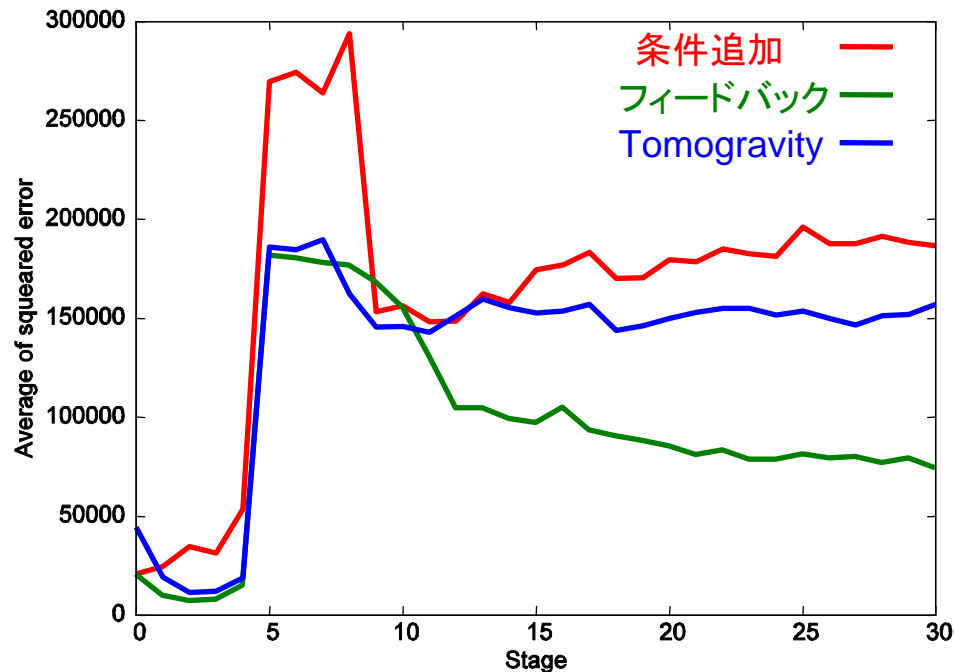
# 光パス数の最大値～基本モデル～

- 提案手法を用いた場合の方がより、光パス数の最大値は小さい
  - 推定誤差が縮小するため、不必要な箇所に光パスが追加されることを防ぐことが可能



# 推定結果～拡張モデル～

- ステージ5に急激な変動を加えた場合について評価
- 条件追加法は、急激な変化に弱い
  - 急激な変化より前の情報も連立方程式に盛り込んでしまうから
- フィードバック法はトラヒックが変動していても推定精度を向上可能
  - トラヒックが変動する場合においても、推定精度を向上可能



# まとめ

## ■ まとめ

- トラヒックマトリクスの推定誤差を考慮したVNT再構成手法を提案
  - VNT再構成を複数ステージに分けて行う
    - 各ステージで追加・削除される光パスの本数を制限
    - 各ステージでVNT再構成後のリンク使用率の観測結果を推定にフィードバック
  - 提案手法により、推定誤差を縮小させ、誤差の影響を緩和したVNT再構成が可能

## ■ 今後の課題

- トラヒックの急激な変動への対応