Optimization of transit priority in the transportation network using a decomposition methodology

M. Mesbah, M. Sarvi, I. Ouveysi, G. Currie

Transportation Research Part C, Vol. **19** (2), pp. 363-373, (2011).

20140628

社会基盤学専攻 交通研 伊藤篤志

概要

- バス専用レーンの最適配置手法の提案
    - 総旅行時間最小化

- 計算において, 分解法を導入

- 例題と結果

http://traffic.seoul.go.kr/files/2012/02/Median-Bus-Lane3.jpg

ベンダースの分解原理

刀根(2007)[1)]

数理計画法の定式化の中に, 構造を異にした2種類の変数が同居

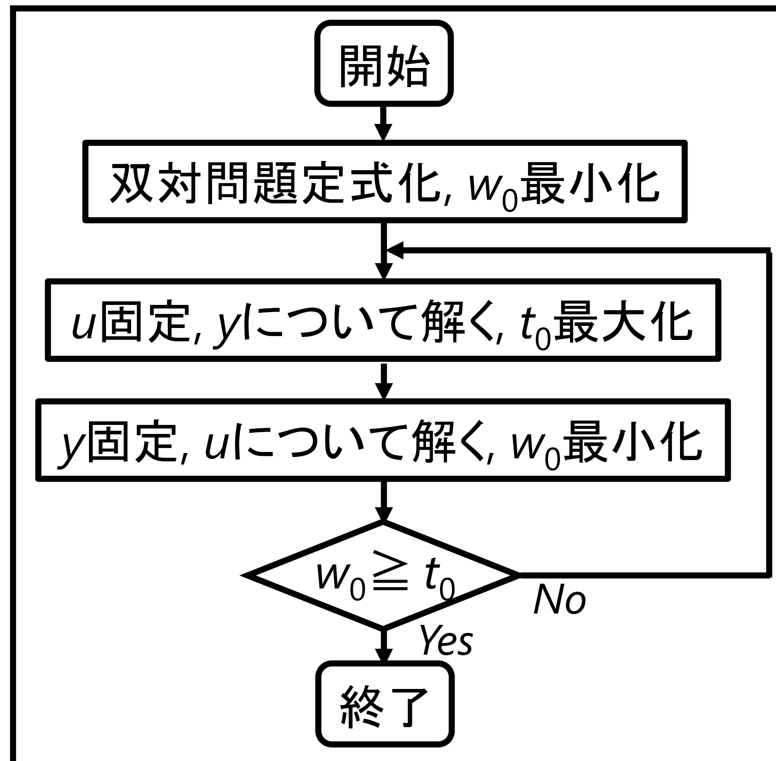
例) [実数変数]+[整数変数]
[線形変数]+[非線形変数]
[ネットワーク型変数]+[非ネットワーク型変数]

それぞれの問題に分解, それを持ち寄って混合問題を解決する→<u>**分解原理**</u>

$$\max_{x,\,y}\ \{z(\boldsymbol{x},\boldsymbol{y})=\boldsymbol{cx}+\boldsymbol{dy}\mid A\boldsymbol{x}+B\boldsymbol{y}\leqq\boldsymbol{b},\ \boldsymbol{x}\geqq 0,\ \boldsymbol{x}\in \mathrm{R}^p,\ \boldsymbol{y}\in Y\subset \mathrm{R}^q\}$$

$\updownarrow$ 双対問題

$$\min\{w(\boldsymbol{y},\boldsymbol{u})=\boldsymbol{dy}+\boldsymbol{u}(\boldsymbol{b}-B\boldsymbol{y})\mid \boldsymbol{u}A\geqq\boldsymbol{c},\ \boldsymbol{u}\geqq 0\}$$



ベンダースの分解原理

問題

$$\max_{x,\,y}\ \{z(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y})=\boldsymbol{cx}+\boldsymbol{dy} \mid A\boldsymbol{x}+B\boldsymbol{y}\leqq \boldsymbol{b},\ \boldsymbol{x}\geqq 0,\ \boldsymbol{x}\in R^p,\ \boldsymbol{y}\in Y\subset R^q\}$$

手順1

$\bar{\boldsymbol{y}}\in Y$をひとつ選び, 固定

双対問題 $\min\{\boldsymbol{dy}+\boldsymbol{u}(\boldsymbol{b}-B\boldsymbol{y}) \mid \boldsymbol{u}A\geqq \boldsymbol{c},\ \boldsymbol{u}\geqq 0\}$ を解く (a)

1と2に場合分け

1. (a)が最適解$\boldsymbol{u}$をもつ
   → $\boldsymbol{u}$を頂点集合Vに入れる
2. (a)は下に無界で, $\boldsymbol{\mu}A\geqq 0,\ \boldsymbol{\mu}\geqq 0$なる方向$\boldsymbol{\mu}$がみつかる
   → $\boldsymbol{\mu}$を端線集合Wに入れる

実数　二値

$$\begin{aligned}
\max\ z=&\boxed{3x_1+5x_2}+\boxed{2y_1+4y_2}\\
-x_1+3x_2+3y_1-2y_2&\leqq 5\\
-4x_1+x_2-y_1+y_2&\leqq 8\\
x_1-x_2+y_1-y_2&\leqq 4\\
\boxed{x_1, x_2\geqq 0},\ &\boxed{y_1, y_2\in\{0, 1\}}
\end{aligned}$$

$\bar{y}_1=0,\ \bar{y}_2=0$ とする

$\boldsymbol{dy}+\boldsymbol{u}(\boldsymbol{b}-B\boldsymbol{y})$

$$=\begin{pmatrix}2 & 4\end{pmatrix}\begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}u_1 & u_2 & u_3\end{pmatrix}\left(\begin{pmatrix}5\\8\\4\end{pmatrix}-\begin{pmatrix}3 & -2\\-1 & 1\\1 & -1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix}\right)$$

$$=5u_1+8u_2+4u_3$$

緩和問題

$$\begin{aligned}
\min\ w=5u_1+8u_2+4u_3&\\
-u_1-4u_2+u_3&\geqq 3\\
3u_1+u_2-u_3&\geqq 5\\
u_1,\ u_2,\ u_3&\geqq 0
\end{aligned}$$

最適解$(u_1,u_2,u_3,w_0)=(4,0,7,48)$

この解を頂点集合Vに入れる

$V=\{(4,0,7)\}$　双対問題の下界

ベンダースの分解原理

手順2

V, Wにより定まる次のt_0, yに関する計画問題を解く
(Mは十分大なる正数)

$$\max\{t_0 \mid$$
$$t_0 \leqq \boldsymbol{dy}+\boldsymbol{u}(\boldsymbol{b}-B\boldsymbol{y}) \qquad (\forall \boldsymbol{u} \in V),$$
$$\boldsymbol{\mu}(\boldsymbol{b}-B\boldsymbol{y}) \geqq 0 \qquad (\forall \boldsymbol{\mu} \in W),$$
$$\boldsymbol{y} \in Y,\ t_0 \leqq M\} \qquad (b)$$

・if　(b)が不能
→原問題も不能, 終了

・else
(b)の最適解を($\hat{t}_0$, $\hat{\boldsymbol{y}}$)とする

※不能: 可能解が存在しない線形計画問題

$\boldsymbol{dy}+\boldsymbol{u}(\boldsymbol{b}-B\boldsymbol{y})$

$$= \begin{pmatrix} 2 & 4 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 4 & 0 & 7 \end{pmatrix}\left(\begin{pmatrix} 5 \\ 8 \\ 4 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 3 & -2 \\ -1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix}\right)$$

$$= -17y_1 + 26y_2 + 48$$

$$\boxed{\begin{array}{l} \max\ t_0 \\ t_0 \leqq -17y_1+26y_2+48 \\ y_1, y_2 \in \{0, 1\} \end{array}}$$

最適解($\hat{y}_1$, $\hat{y}_2$, $\hat{t}_0$)=(0,1,74)

ベンダースの分解原理

手順3

$\hat{\boldsymbol{y}}$により定まる, 次の$\boldsymbol{u}$に関する線形問題を解く

min{$\boldsymbol{d}\hat{\boldsymbol{y}}+\boldsymbol{u}(\boldsymbol{b}-B\hat{\boldsymbol{y}})|\boldsymbol{u}A \geqq \boldsymbol{c}, \boldsymbol{u} \geqq 0$} を解く (*c*)

1と2に場合分け

<u>1. (*c*)が下に下界</u>

→ その方向$\boldsymbol{\mu}$をみつけ, 集合*W*に加えて手順2へ

<u>2. (*c*)が最適解$\hat{\boldsymbol{u}}$をもつ</u>

→ $\boldsymbol{dy}+\hat{\boldsymbol{u}}(\boldsymbol{b}-B\boldsymbol{y}) \geqq t_0$が成立するかどうかを調べる

if 成立

→*y*と*x*は原問題の最適解 (終了)

else if $\hat{t}_0 > \boldsymbol{d}\hat{\boldsymbol{y}}+\hat{\boldsymbol{u}}(\boldsymbol{b}-B\hat{\boldsymbol{y}})$

→*u*を集合*V*に加えて手順2へ

$\boldsymbol{d}\hat{\boldsymbol{y}}+\boldsymbol{u}(\boldsymbol{b}-B\hat{\boldsymbol{y}})$

$$= \begin{pmatrix} 2 & 4 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_1 & u_2 & u_3 \end{pmatrix}\left(\begin{pmatrix} 5 \\ 8 \\ 4 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 3 & -2 \\ -1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}\right)$$

$$= 4 + 7u_1 + 7u_2 + 5u_3$$

$$\boxed{\begin{aligned} \min\ w = 4+7u_1+7u_2+5u_3 & \\ -u_1 - 4u_2 + u_3 &\geqq 3 \\ 3u_1 + u_2 - u_3 &\geqq 5 \\ u_1,\ u_2,\ u_3 &\geqq 0 \end{aligned}}$$

最適解$(\hat{u}_1, \hat{u}_2, \hat{u}_3, \hat{w}_0) = (4,0,7,74)$

<u>(*c*)が最適解$\hat{\boldsymbol{u}}$をもつ</u>

$\boldsymbol{d}\hat{\boldsymbol{y}}+\hat{\boldsymbol{u}}(\boldsymbol{b}-B\hat{\boldsymbol{y}}) = \hat{w}_0 = 74 = \hat{t}_0$

が成立, 最適解に達した.

$(\hat{x}_1, \hat{x}_2) = (25/2, 13/2)$

既往研究

RSA(Road Space Allocation): 道路空間再配分

Local level 幹線リンクへの導入を検討

・専用レーンが幹線の交通に与える影響
・評価手法を提案
・旅行時間, 分散, 初期費用維持費用などの包括的費用

Bly et al.(1978)
Black(1991)
Currie et al.(2007)

ネットワーク全体を通した最適な道路空間再配分の提示に至っていない

Network level ネットワーク中のあらゆるリンクへの導入を検討

1. 現存のバスネットワークを保持, 自家用車とバスの間で道路空間を再配分
→本研究の対象
2. バスネットワークの改変も含めた公共交通デザイン問題(TNDP)
→公共交通網の再構築は実現性に劣る
→自家用車とバスが相互に与える交通量配分を考えていない

新規性

・ネットワークレベルで, バスレーン導入の最適組み合わせを見つける手法を提案

・包括的目的関数の導入

・最適値計算手法の導入

モデル記述

モデルの概要

・ネットワークデザイン問題(NDP)として扱う Leblanc(1975)
・Stackelberg問題
　・Leader:交通ネットワーク管理者
　・Follower: 交通ネットワーク利用者
・管理者が専用レーンの位置を決定
・利用者が旅行時間を最小化する経路を選択

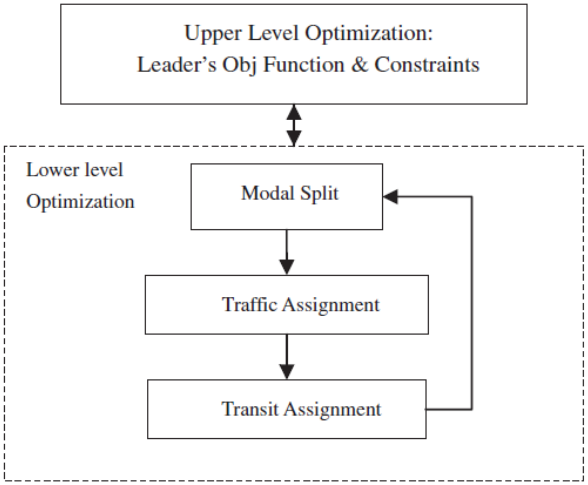


Fig. 1. Schematic representation of the bi-level approach.

仮定

1. ODは一定, 施策の影響を受けない
2. ネットワーク利用者は自家用車とバスの2つに限定
3. レイアウト, リンク情報, コスト関数, 操作詳細は既知
4. バス経路, 頻度, バス停位置は一定
5. 専用レーンの導入に伴い, バスの旅行時間は減る
   バス停の容量は無限, 1つのレーンに制限されない

定式化 -上位問題

目的関数

自家用車c　　バスb

$$\min Z = \alpha \sum_{a\in A} x_a^c t_a^c(x) + \beta\left(\sum_{a\in B} x_a^b t_a^b(x) + \overbrace{\sum_{i\in I} W_i}^{\text{停車時間}}\right)$$ 総旅行時間

$$+ \gamma \sum_{a\in A} \frac{x_a^c}{Occ^c} l_a Imp^c + \eta \sum_{a\in B} f_a s_a Imp^b$$ 社会的コスト

$\alpha, \beta, \gamma, \eta (\geqq 0)$: 重みづけ, 単位変換, 相対的重要度

$A=A_1 \cup A_2 \cup A'_2$: ネットワーク集合
A_1: 専用レーン導入不可リンク集合
A_2: 専用レーン導入可能リンク集合(導入済)
A'_2: 専用レーン導入可能リンク集合(未導入)
B: バス経路 (徒歩リンク, 乗り換えリンク含む)
$B_i^{+/-}$: リンクの集合(from/to node i)

$x_a^{c/b}$: リンクaの交通量
$t_a^b(x)$: 旅行時間
$t_{0\text{-}1,a}^{c/b}(x)$: リンク$a$の旅行時間

w_i: ノードiでの待ち時間
I: バス停の集合

$Imp^{c/b}$: 社会的コスト(排出, 騒音, 事故, 信頼性)

Occ^c: 車利用の平均占有率
l_a: リンクaの長さ

$f_a (=\Sigma_{p\in L} f_p \xi_{p,a})$: リンク$a$上のバス頻度の合計
L: バス路線の集合
f_p: バス路線pの頻度
$\xi_{p,a}$: バス路線リンク行列
s_a: リンクaのバス旅行時間

定式化 -上位問題

制約条件

$$s.t. \sum_{a \in A_2} Exc_a \phi_a \leq Bdg$$

$$\phi_a = 0 \text{ or } 1 \ \forall a \in A_2$$

導入費用

道路管理者が意思決定する要素
→リンク*a*にバスレーンを導入するか否か

Bdg: 予算
Exc_a: リンク(*a*)での専用レーンの導入費用
Φ_a: ダミー変数 (1: リンク混合状態)

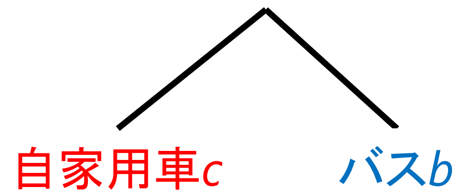
定式化 -下位問題

・OD表は既与
・各リンク交通量$x_a^{c/b}$および旅行時間$t_a^{c/b}(x)$は四段階推定法により算出
・上位問題の制約に従う

③交通手段分担モデル

$$P^{c/b} = \frac{\exp\left(U^{c/b}\right)}{\exp\left(U^{c}\right) + \exp\left(U^{b}\right)}$$

$$U^{c/b} = a_0 + a^*{}_1 X_1^{c/b} + \cdots + a^*{}_n X_n^{c/b}$$



$x_1, x_2, \ldots, x_n$: 説明変数 (旅行時間, 費用など)
$a_0, a_1, \ldots, a_n$: 係数

定式化 -下位問題

④リンク配分モデル

f_k^{rs}: rs間経路k上交通量
q_{rs}: rs間交通割合
$\delta_{k,a}^{rs}$: リンクaが経路k上にあれば1

q_i^b: ノードiでのバス利用需要

自家用車c		バスb
	目的関数	
$\min Y = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a^c} t_a^c(x)dx$	旅行時間・待ち時間最小化	$\min W = \sum_{a \in B} x_a^b t_a^b + \sum_{i \in I} w_i$
	制約条件	
$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs}^c \quad \forall r,s$	rs間交通量	$\sum_{a \in B_i^+} x_a^b - \sum_{a \in B_i^-} x_a^b = q_i^b \quad \forall i \in I$
$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall k,r,s$	非負制約	
$x_a^c = \sum_{rs} \sum_k f_k^{rs} \delta_{k,a}^{rs} \quad \forall a \in A$		$x_a^b \leq f_a w_i \quad \forall a \in B_i^+, \forall i \in I$
$x_a^c \leq M\phi_a \quad \forall a \in A_2$	専用レーン有リンク	$x_a^b \leq M\phi_a \quad \forall a \in A_2$
$x_{a'}^c \leq M(1-\phi_a) \quad \forall a' \in A'_2$	専用レーン無リンク	$x_{a'}^b \leq M(1-\phi_a) \quad \forall a' \in A'_2$
$x_a^c \geq 0 \quad \forall a \in A$	非負制約	$x_a^b \geq 0 \quad \forall a \in B$

一般化ベンダース分解の適用

制約には二値関数Φを含みながら,
上位問題目的関数はフロー関数*x*で構成されている

*Φ*の固定
→2つの問題に分枝

二段階問題→*Z*と下位問題 (リンク配分モデル)

タスク: サブ問題の双対問題の構築
上位問題目的関数に代替する

一般化ベンダース分解の適用

Z_1と④リンク配分モデル(自家用車c)

ω,ω': ラグランジュ乗数
n: 繰り返し回数

目的関数

$$\min Y = \sum_{a\in A}\int_0^{x_a^c} t_a^c(x)dx$$

制約条件

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs}^c \quad \forall r,s$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall k,r,s$$

$$x_a^c = \sum_{rs}\sum_k f_k^{rs}\delta_{k,a}^{rs} \quad \forall a\in A$$

$$x_a^c \leq M\phi_a \quad \forall a\in A_2$$

$$x_{a'}^c \leq M(1-\phi_a) \quad \forall a'\in A'_2$$

$$x_a^c \geq 0 \quad \forall a\in A$$

ラグランジュ関数Y^nを定義

$$Y^n = \sum_{a\in A}\int_0^{x_a^c} t_a^c(x)dx + \sum_{a\in A_2}\omega_a^n\left(x_a^c - M\phi_a\right) + \sum_{a'\in A'_2}\omega'^n_{a'}\left(x_{a'}^c - M(1-\phi_a)\right) \quad \cdots①$$

上位問題目的関数Zの第1項Z_1

$$Z_1 = \alpha\sum_{a\in A}x_a^c t_a^c(x) = \alpha Y + \alpha\sum_{a\in A}\int_0^{x_a^c} x\frac{dt(x)}{dx}dx \quad \cdots②$$

$$\because \sum_{a\in A}x_a t(x_a) = \sum_{a\in A}\int_0^{x_a} t(x)dx + \sum_{a\in A}\int_0^{x_a} x\frac{dt(x)}{dx}dx$$

①, ②式より

$$Z_1^n = \alpha\left(\sum_{a\in A}x_a^c t_a^c(x) + \sum_{a\in A_2}\omega_a^n\left(x_a^c - M\phi_a\right) + \sum_{a'\in A'_2}\omega'^n_{a'}\left(x_{a'}^c - M(1-\phi_a)\right)\right)$$

$$\min Z = \underbrace{\alpha\sum_{a\in A}x_a^c t_a^c(x)}_{Z_1} + \beta\left(\sum_{a\in B}x_a^b t_a^b(x) + \sum_{i\in I}W_i\right) + \gamma\sum_{a\in A}\frac{x_a^c}{Occ^c}l_a Imp^c + \eta\sum_{a\in B}f_a s_a Imp^b$$

一般化ベンダース分解の適用

Z_2と④リンク配分モデル(バスb)

μ, μ': ラグランジュ乗数
n: 繰り返し回数

目的関数

$$\min W = \sum_{a \in B} x_a^b t_a^b + \sum_{i \in I} w_i$$

制約条件

$$\sum_{a \in B_i^+} x_a^b - \sum_{a \in B_i^-} x_a^b = q_i^b \quad \forall i \in I$$

$$x_a^b \le f_a w_i \quad \forall a \in B_i^+, \forall i \in I$$

$$x_a^b \le M\phi_a \quad \forall a \in A_2$$

$$x_{a'}^b \le M(1-\phi_a) \quad \forall a' \in A'_2$$

$$x_a^b \ge 0 \quad \forall a \in B$$

ラグランジュ関数W^nを定義

$$W^n = \sum_{a \in B} x_a^b t_a^b + \sum_{i \in I} w_i + \sum_{a \in A_2} \mu_a^n \left(x_a^b - M\phi_a\right) + \sum_{a' \in A'_2} \mu'^n_{a'} \left(x_{a'}^b - M(1-\phi_a)\right) \quad \cdots ③$$

上位問題目的関数Zの第2項Z_2

$$Z_2 = \beta\left(\sum_{a \in B} x_a^b t_a^b(x) + \sum_{i \in I} W_i\right) = \beta W \quad \cdots ④$$

③, ④式より

$$Z_2^n = \beta W_2$$

$$= \beta\left(\sum_{a \in B} x_a^b t_a^b(x) + \sum_{i \in I} w_i + \sum_{a \in A_2} \mu_a^n \left(x_a^b - M\phi_a\right) + \sum_{a' \in A'_2} \mu'^n_{a'} \left(x_{a'}^b - M(1-\phi_a)\right)\right)$$

$$\min Z = \alpha \sum_{a \in A} x_a^c t_a^c(x) + \underbrace{\beta\left(\sum_{a \in B} x_a^b t_a^b(x) + \sum_{i \in I} W_i\right)}^{Z_2} + \gamma \sum_{a \in A} \frac{x_a^c}{Occ^c} l_a Imp^c + \eta \sum_{a \in B} f_a s_a Imp^b$$

一般化ベンダース分解の適用

Z_3とZ_4

$$Z_3^n = \gamma \sum_{a \in A} \frac{x_a^c}{Occ^c} l_a Imp^c \qquad Z_4^n = \eta \sum_{a \in B} f_a s_a Imp^b$$

Z^n

$Z^n = Z_1^n + Z_2^n + Z_3^n + Z_4^n$: 原問題の上界

緩和問題v

v: 原問題の緩和問題, 下界を与える

$$\min v$$

$$v \geq Z^n(\phi, \omega, \omega', \mu, \mu')$$

$$\sum_{a \in A'_2} Exc_a \phi_a \leq Bdg$$

$$\phi = 0,1$$

最適化アルゴリズム

Step 0

初期値の設定

上界=∞
下界=-∞
初期解{$\Phi_a \in A_2$}
n=1
ε: 収束定数

Step 1

- Φ_aを固定
- 下位問題を解き, $x^{c/b}$, ω, ω', μ, μ', Z_n(=$Z_1+Z_2+Z_3+Z_4$)を算出
- 上界=min(下界, Z^n)

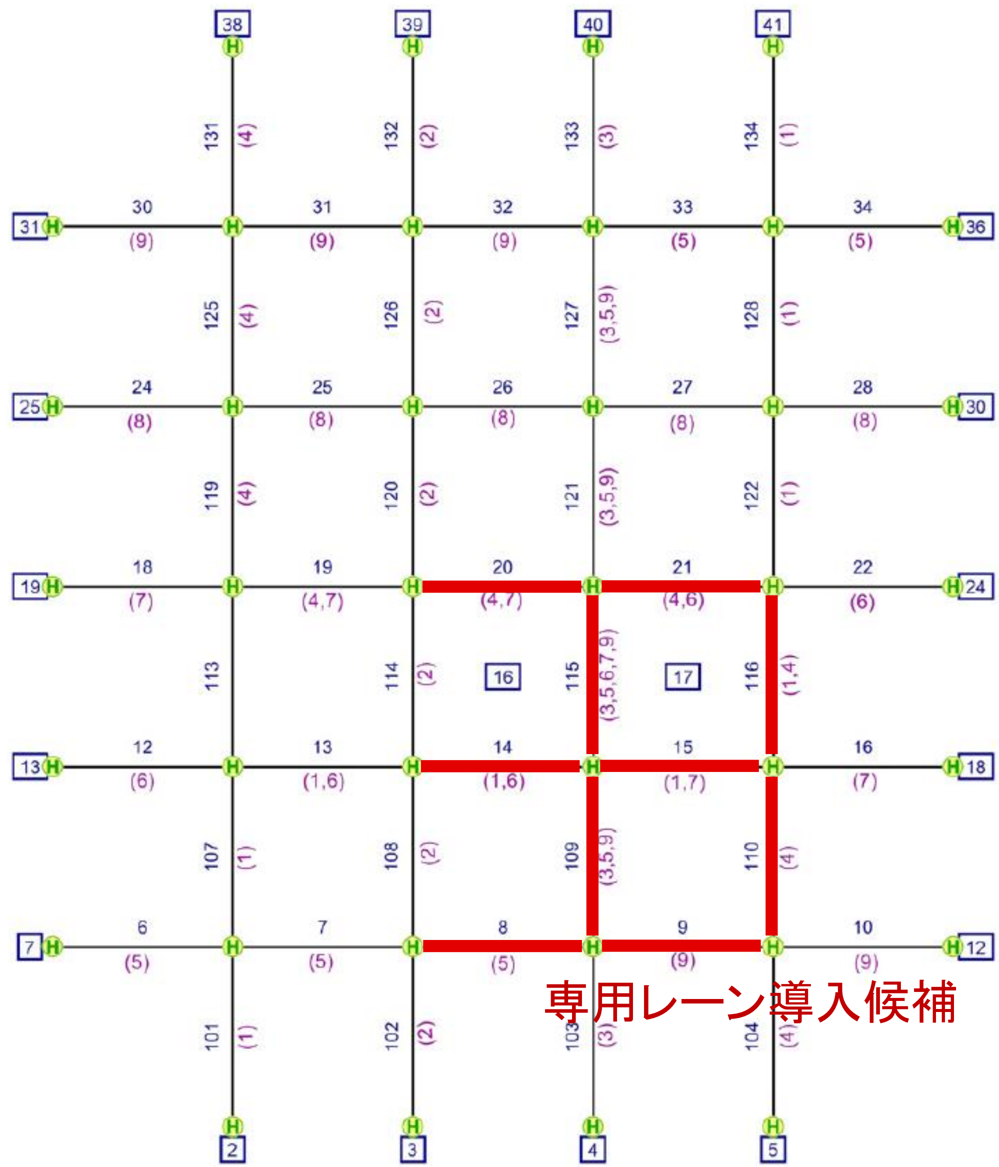
Step 2

- $x^{c/b}$, ω, ω', μ, μ', Z_n(=$Z_1+Z_2+Z_3+Z_4$)を固定
- 緩和問題を解き, Φ_aとvを算出
- 下界=v
- if 上界-下界$v \leqq \varepsilon$
  終了
  else
  $n=n+1$, Step 1に戻る

- ノード数: 38
- リンク数: 49組(98方向)
- 各OD間で100/hの交通量
- ODノードはネットワーク周囲と 16, 17の右のノード(青の四角)
- 20ペア, 38,000/hの交通量
- 9バス路線
- /5min(路線1-7), /10min(路線8,9)
- 各リンク長: 400m
- 各リンク2車線
- 速度制限 50km/h
- 予算制約より, 専用レーンは最大3組

③交通手段分担モデルパラメータ
$(a_0^c, a_0^b, a_1^c, a_1^b)=(10, 16, 1.9, 0.1)$

上位問題目的関数パラメータ
$(\alpha, \beta, \gamma, \eta)=(0.5, 0.5, 5, 0)$



数値計算例

コスト関数(専用レーン):

$$t_{1,a}^{c} = t_{0,a} + 2\left(\frac{x_a^c}{Cap_{1,a}^c}\right) + 3\left(\frac{x_a^c}{Cap_{1,a}^c}\right)^2,\ t_{1,b}^{t} = t_{0,a} \qquad \forall a \in A_2$$

t_0: 自由流でのリンク通過時間
$Cap_{0\text{-}1,a}^{c}$: リンクaの交通容量
0: 専用レーンなし, $Cap_{0,a}^{c}$=1,800 veh/h
1: 専用レーン有り, $Cap_{1,a}^{c}$=1,200 veh/h

コスト関数(普通車線):

$$t_{0,a}^{c} = t_{0,a}^{b} = t_{0,a} + 2\left(\frac{x_a^c + x_a^t}{Cap_{0,a}^c}\right) + 3\left(\frac{x_a^c + x_a^t}{Cap_{0,a}^c}\right)^2 \qquad \forall a \in A - A_2$$

Table 1
Combination of transit exclusive lanes in iterations.

Candidate links	Iteration number																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
8	−	−	*	−	−	*	*	−	−	−	−	*	−	*	−	−	−	*	−
9	−	*	−	−	*	−	−	−	−	*	*	−	−	*	*	−	−	−	−
14	*	−	−	*	−	−	*	−	−	*	−	−	−	−	−	−	*	*	−
15	−	−	−	*	−	*	−	−	−	−	*	−	*	−	*	−	−	−	*
20	*	−	−	−	−	−	−	−	*	−	*	*	−	−	−	−	*	−	−
21	−	−	*	*	*	−	−	−	*	−	−	−	−	*	−	*	−	*	*
109	−	−	*	−	−	−	−	*	−	*	−	−	*	−	−	*	−	−	−
110	*	−	−	−	*	*	−	*	−	−	−	−	−	−	*	−	−	−	*
115	−	*	−	−	−	−	−	−	−	−	−	*	*	−	−	−	*	−	−
116	−	*	−	−	−	−	*	*	*	−	−	−	−	−	−	*	−	−	−

Keyz: − normal link, * conjugate link (with exclusive lane).

最適値

→19/120 回の計算で最適組み合わせを発見

まとめ

- ネットワークレベルで, バス専用レーンの最適導入の新しい手法を提言
- 一般化ベンダース分解を適用, 効率的に最適値に収束

本研究の使い道

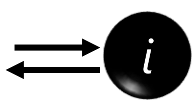
最適化の計算手法

- 混合整数計画

専用レーンの導入問題最適化

- 地震後に緊急車両レーンを設ける, とか

$A=A_1 \cup A_2 \cup A'_2$: ネットワーク集合
A_1: 優先レーン導入不可のリンク集合
A_2: 優先レーン(専用レーン)のリンク集合
A_2': 混合交通リンクの集合 (専用レーンなし)
B: バス経路, 徒歩リンク, 乗り換えリンク含む
$B_i^{+/-}$: リンクの集合(from/to node i)
L: バス路線の集合
I: バス停の集合
$f_a(=\Sigma_{p \in L} f_p \xi_{p,a})$: リンク$a$上のバス頻度の合計
f_p: バス路線pの頻度
$\xi_{p,a}$: バス路線リンク行列
$t_a^b(x)$: 旅行時間
l_a: リンク(a)の長さ
s_a: リンクaのバス旅行時間
$t_{0\text{-}1,a}^{c/b}(x)$: リンク($a$)の旅行時間, c: 自家用車, b: バス, 交通量の関数
0: 専用レーンあり, 1: 専用レーンなし
$x_a^{c/b}$: リンクaの交通量
w_i: ノードiでの待ち時間
$\alpha, \beta, \gamma, \eta(\geqq 0)$: 重みづけ, 単位変換, 相対的重要度



定式化 -下位問題

下位問題 3rd model

q_i^b: ノードiでのバス利用需要

$$\min W = \sum_{a \in B} x_a^b t_a^b + \sum_{i \in I} w_i$$

旅行時間+待ち時間最小化

$$s.t. \sum_{a \in B_i^+} x_a^b - \sum_{a \in B_i^-} x_a^b = q_i^b \quad \forall i \in I$$

rs間交通量

非負

$$x_a^b \le f_a w_i \forall a \in B_i^+, \quad \forall i \in I$$

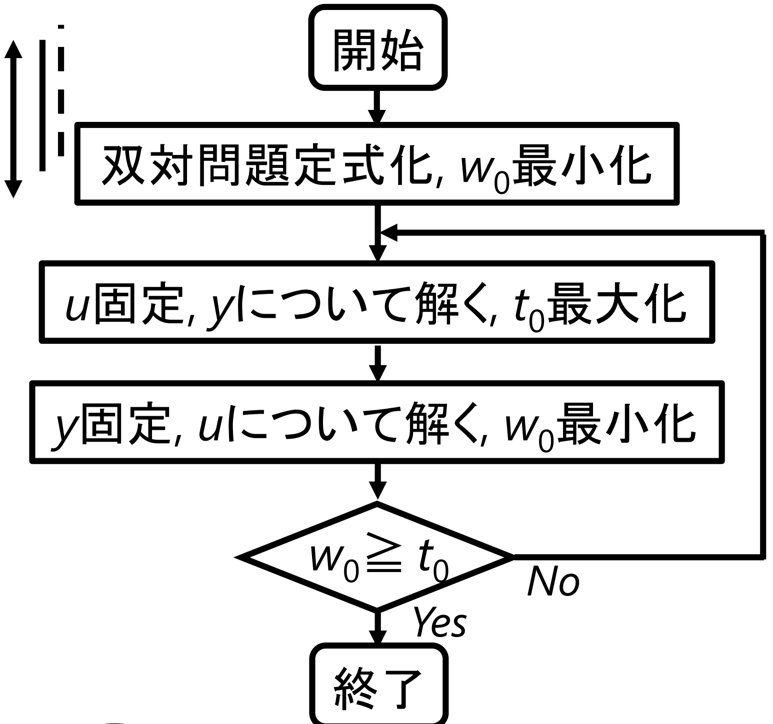
リンクaの自家用車交通量

$$x_a^b \le M\phi_a \forall a \in A_2$$

$$x_{a'}^b \le M(1-\phi_a) \quad \forall a' \in A'_2$$

$$x_a^b \ge 0 \forall a \in B$$

ノーマルか対のリンクを流れる制約


開始
双対問題定式化, w_0最小化
u固定, yについて解く, t_0最大化
y固定, uについて解く, w_0最小化
$w_0 \geqq t_0$
No
Yes
終了

ナップサック問題 (KP)