

ハブ空港配置問題に対するO'Kellyの モデルの拡張とその解法

東京理科大学

工学部経営工学科沼田研究室

4401012 伊藤亮平

発表の流れ

1. はじめに
2. 問題の前提条件
3. 定式化
4. 解法
5. 実験
6. 実験結果及び考察
7. 結論
8. 今後の課題
9. 参考文献

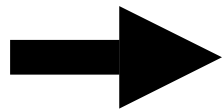
1. はじめに

1-1. 問題背景

広大な土地にある航空会社の重要課題

II

各地に点在する航空需要への効率的な対応



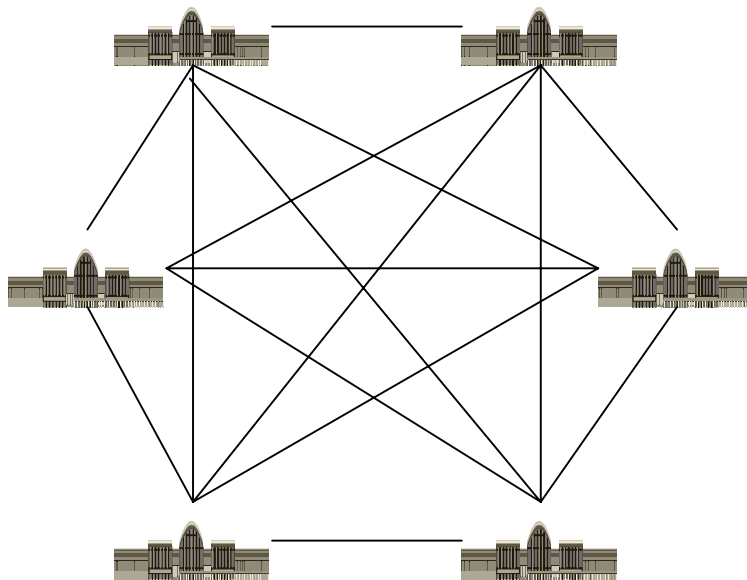
ハブ空港を配置することで解決

ハブ空港

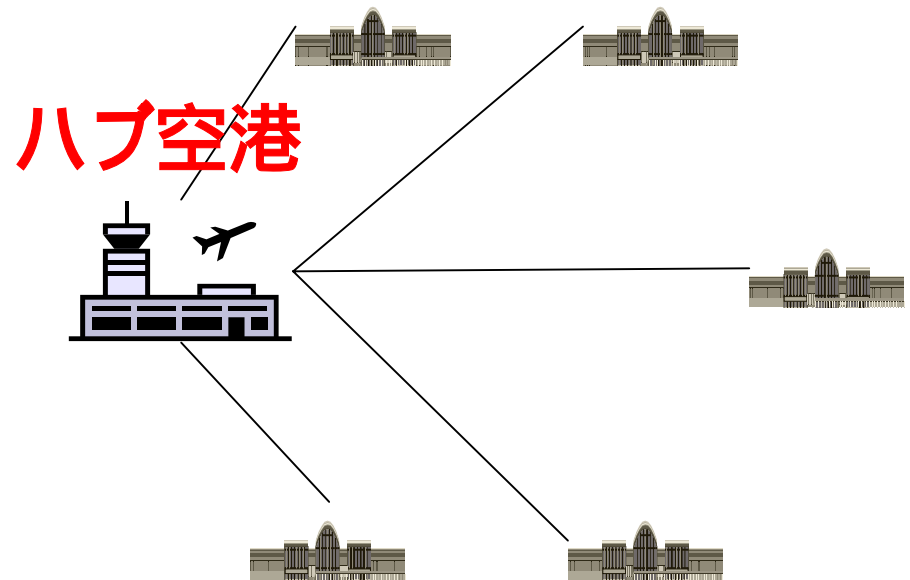
航空会社が乗り換えの拠点としている空港のこと

メリット

路線数を減らすことができる



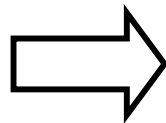
路線数 15本



路線数 5本

ハブ空港の配置と接続の決定が必要

- ・ 空港の数
- ・ 設置するハブ空港の数
- ・ 空港間の乗客数
- ・ 空港間の単位人数あたりの輸送費用

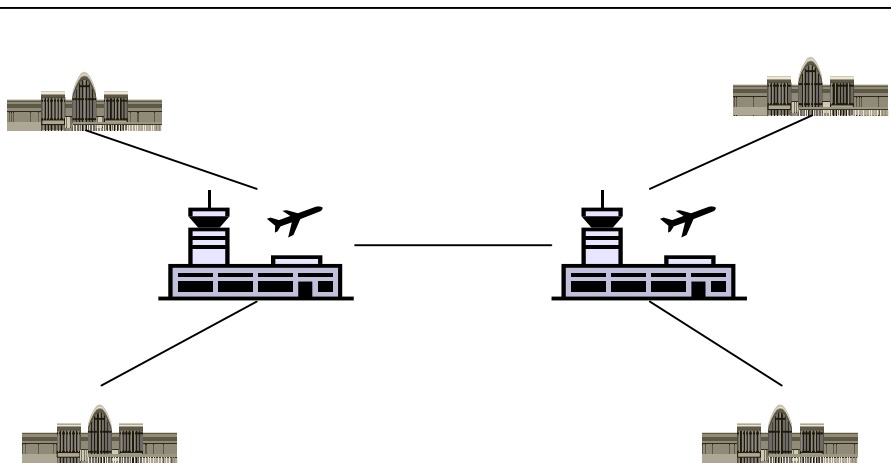


総輸送費用最小

ハブ空港の配置, 接続

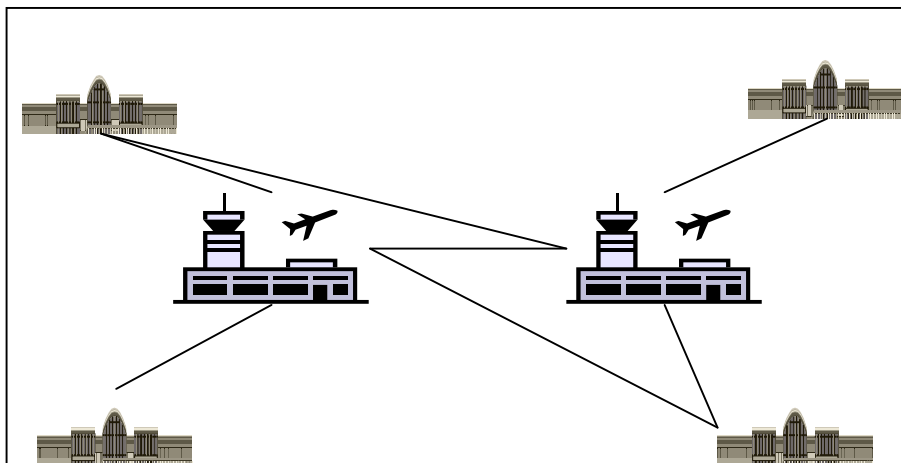
ハブ空港配置と接続の初期のモデル

➔ M.O'Kelly^[1]



O'Kellyのモデル
ハブ空港と
非ハブ空港の接続

➔ **1つのみ**



本研究のモデル

ハブ空港と
非ハブ空港の接続

➔ **2つ以下**

1-2. 研究の目的

M.O'Kelly_[1]のモデルを拡張した問題に対して、いくつかの解法を提案し、それぞれの性能を評価する。

2. 問題の前提条件

- ・非ハブ空港が接続できるハブ空港数は2以下.
- ・ハブ空港同士は全て直接接続.
- ・非ハブ空港はハブ空港にのみ接続.
- ・非ハブ空港間の移動はハブ空港1回もしくは2回経由
- ・総輸送費用は空港間の乗客と空港間の輸送費用をかけたものの和
- ・ハブ空港間の輸送費用はディスカウントファクターで値引きされる.
- ・費用を計算する際出発地から目的地までは、輸送費用が最小となる経路を移動

3. 定式化

3-1 定式化のための記号の定義

n : 与えられる空港の数

p : 設置するハブ空港の数 ($p < n$)

P : ハブ空港の集合

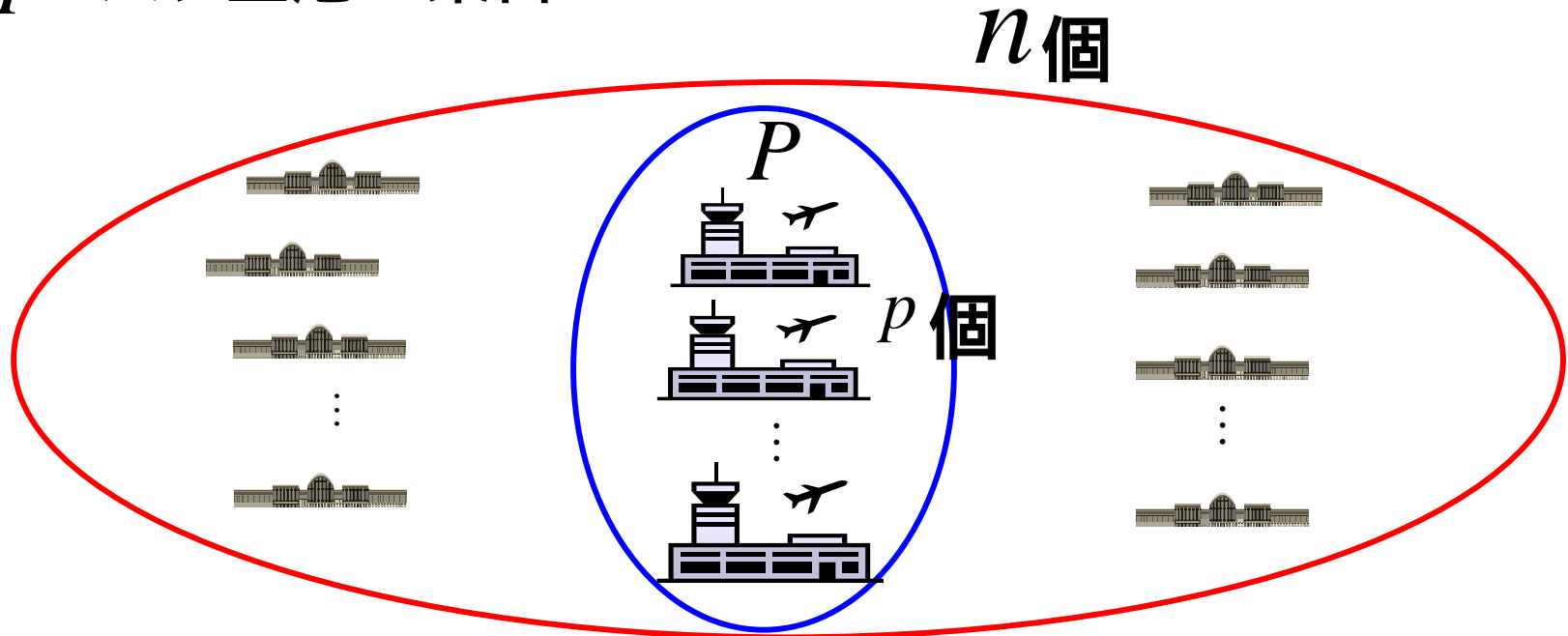


図2 : 定式化の記号

定式化のための記号の定義

W_{ij} : 空港 i , j 間の乗客数 ($W_{ii} = 0, W_{ij} = W_{ji}$)

C_{ij} : 空港 i , j 間の単位人数あたりの輸送費用
($C_{ii} = 0, C_{ij} = C_{ji}$)

α : ハブ空港間の値引率 ($0 \leq \alpha \leq 1$)

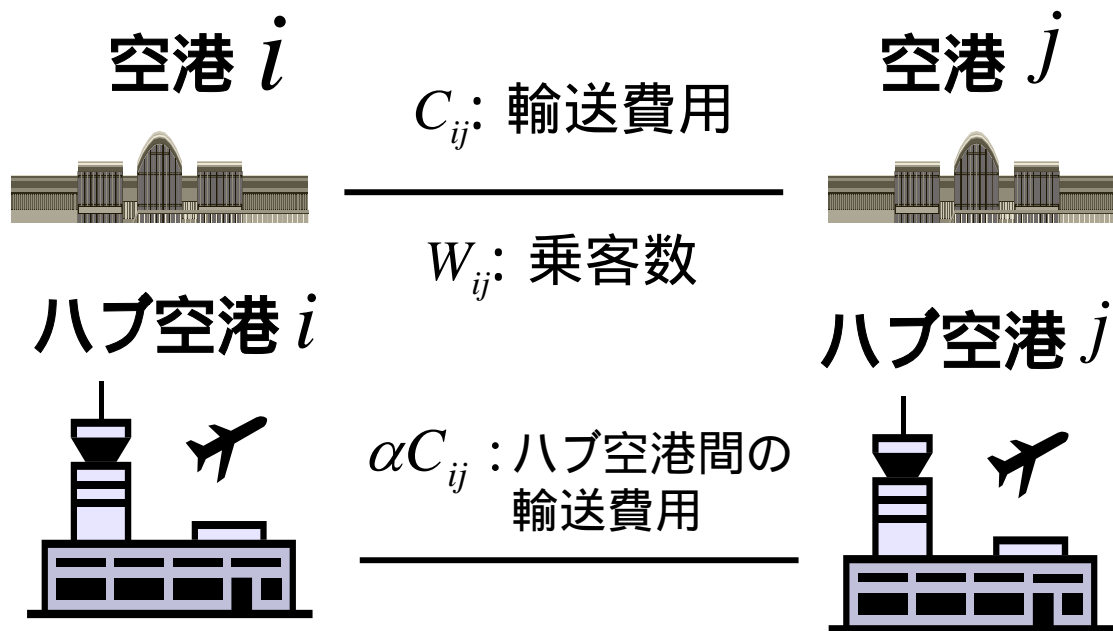


図3: 定式化の記号

定式化のための記号の定義

$$x_{ik} = \begin{cases} 1: \text{非ハブ空港 } i \text{ がハブ空港 } k \text{ に接続する,} \\ \quad \text{または } i=k \text{ で空港 } k \text{ がハブ空港のとき} \\ 0: \text{それ以外} \end{cases}$$

$$y_k = \begin{cases} 1: \text{空港 } k \text{ がハブ空港である} \\ 0: \text{それ以外} \end{cases}$$

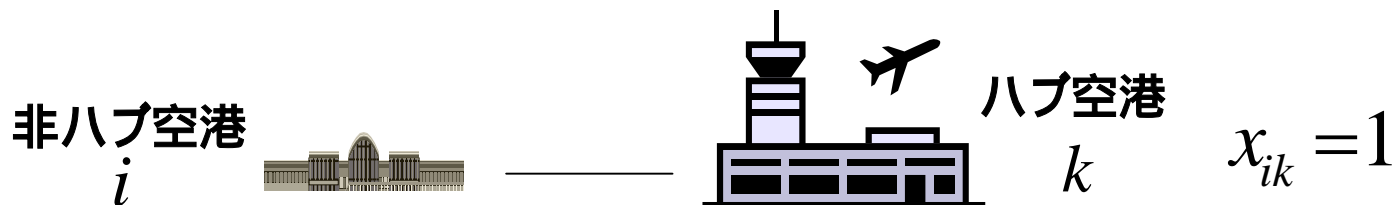


図4: 定式化の記号

3-2 問題の定式化

問題を定式化すると以下のようなになる。

Minimize

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \left[\min_{k,m \in P(y)} \left\{ C_{ik} + \alpha C_{km} + C_{mj} + M(2 - x_{ik} - x_{jm}) \right\} \right] \quad (1)$$

注) M : 非常に大きな正数

制約条件は以下のようになる .

$$\textit{subject to} \quad \sum_{k=1}^n x_{ik} \leq 2 \quad \forall i \quad (2)$$

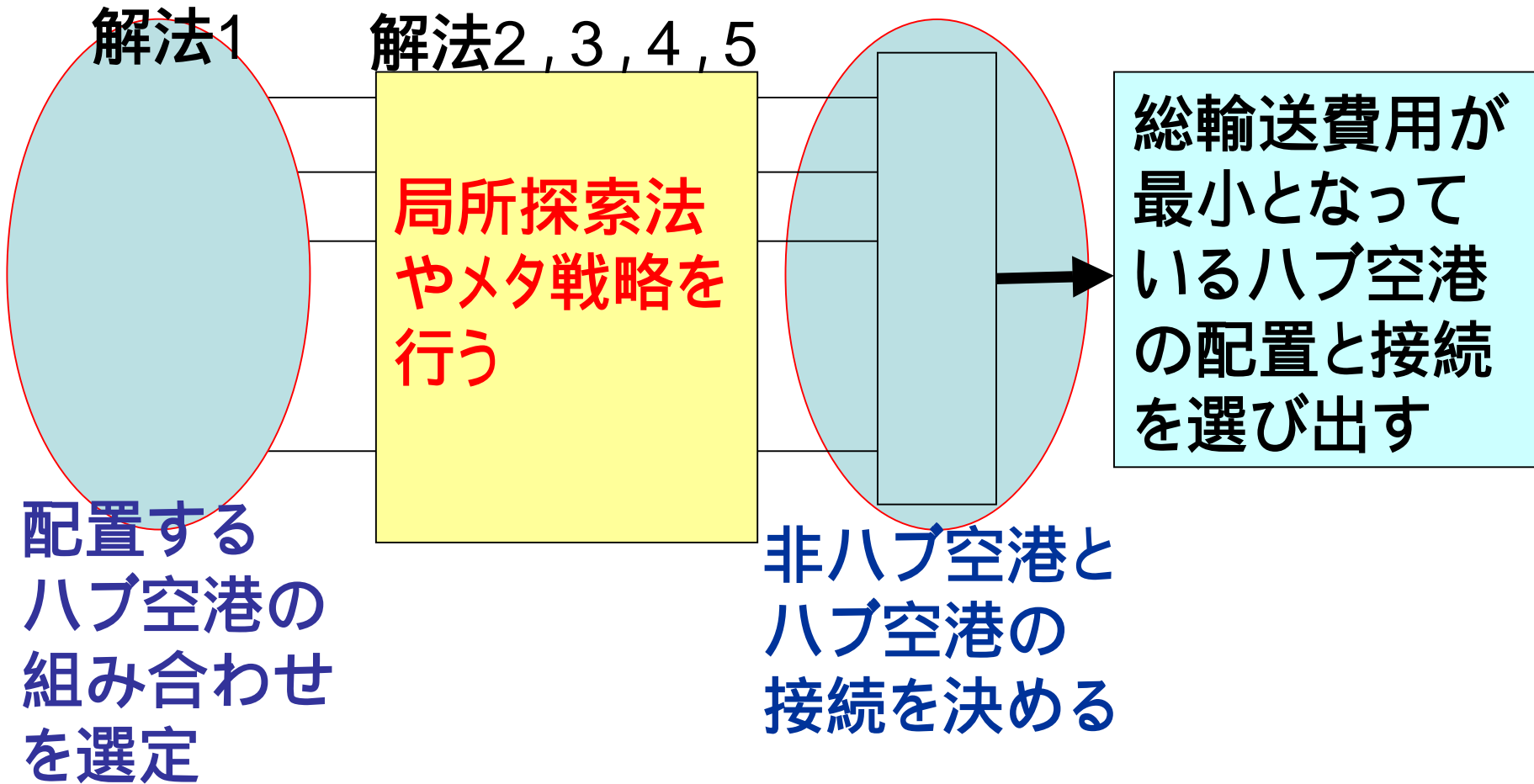
$$\sum_{k=1}^n y_k = p \quad (3)$$

$$x_{ik} \leq y_k \quad \forall i, \forall k \quad (4)$$

$$x_{ik} \in \{0,1\}, y_k \in \{0,1\}$$

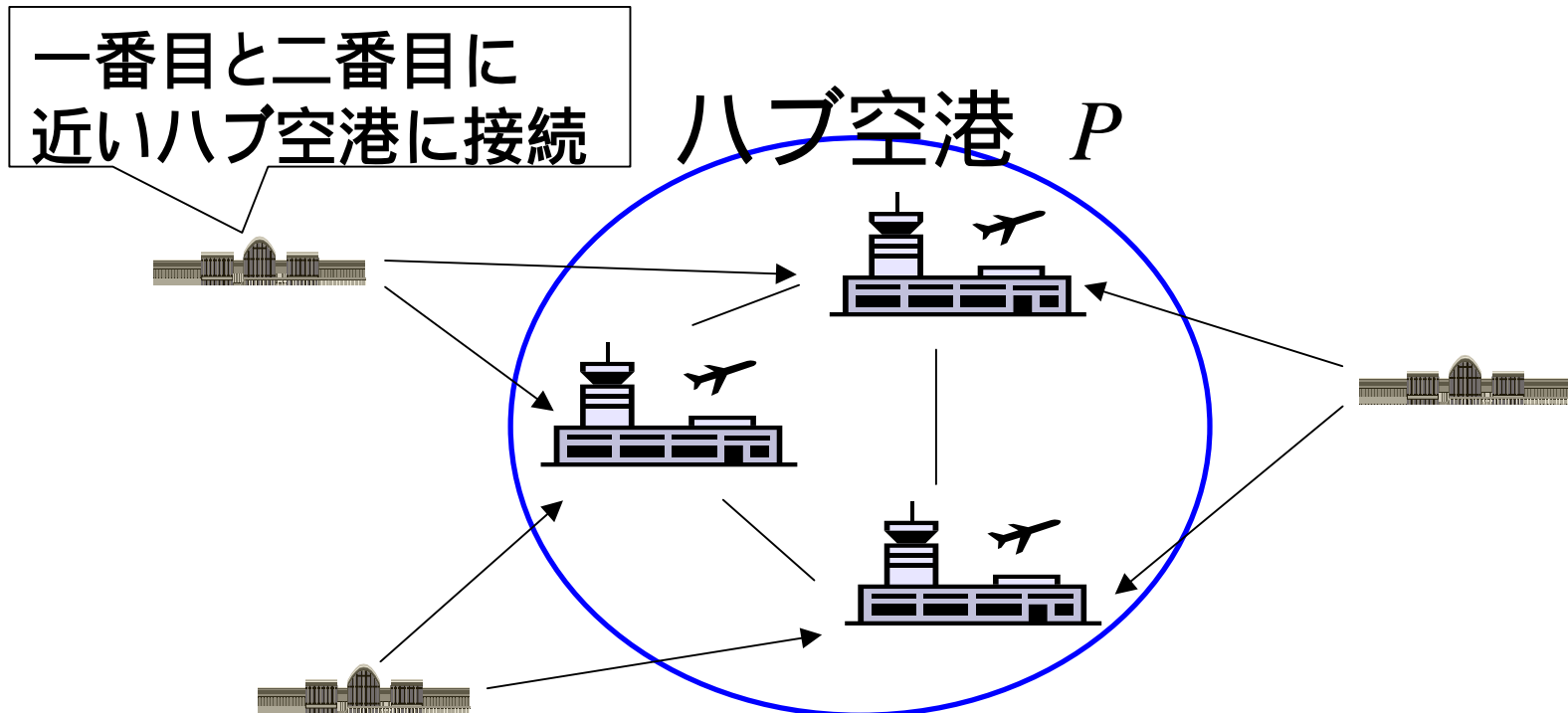
4. 解法

本研究では、問題を2段階に分けて解く。



4-1. 設置するハブ空港の組み合わせの候補の選定

解法1: 配置するハブ空港の組み合わせは, 全列挙. 非ハブ空港から一番近いハブ空港と二番目に近いハブ空港に接続.



4-2. ハブ空港と非ハブ空港の接続を決定

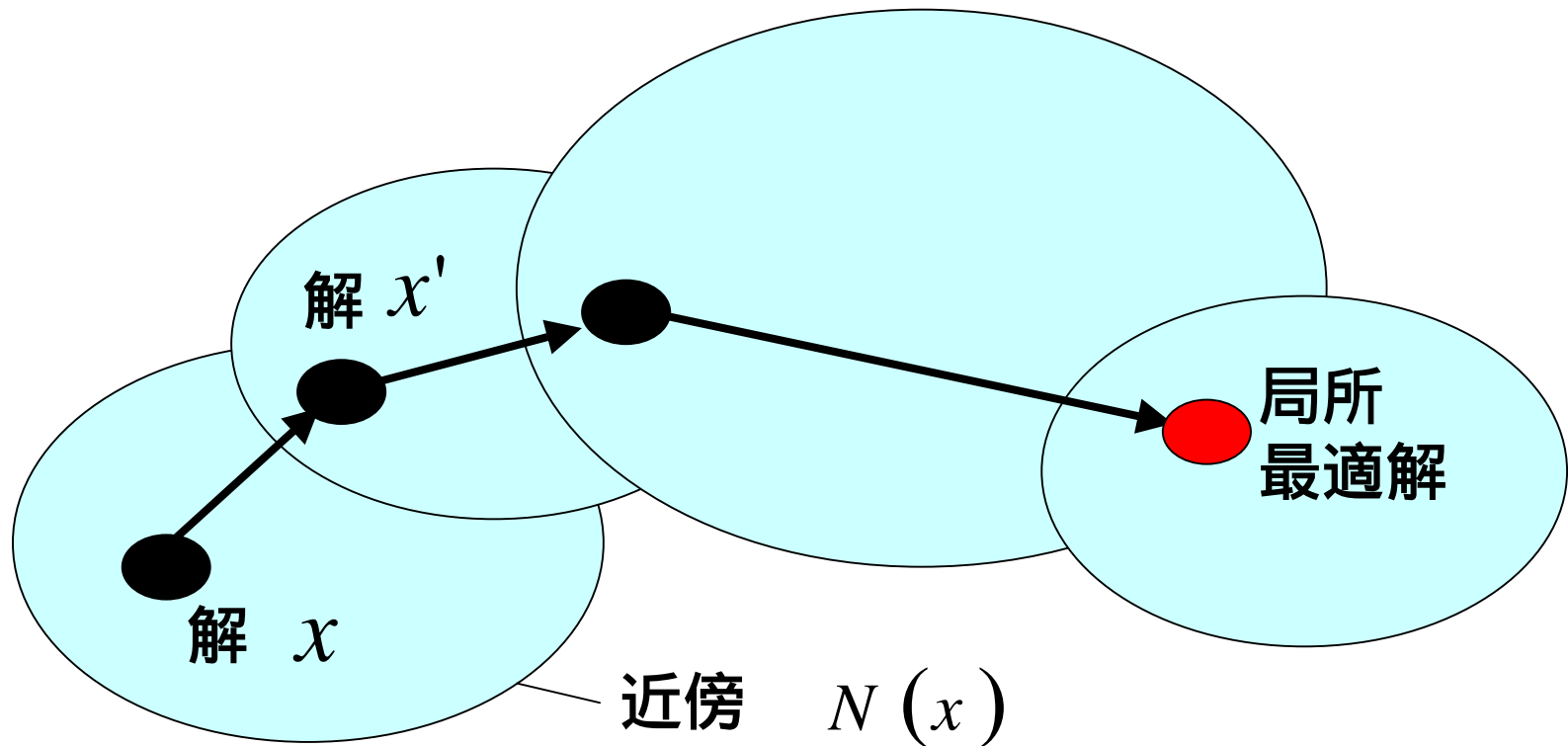
本研究での局所探索法の基本アルゴリズム

[Step1]: 解法1で得た近似解を初期解とし, その解のハブ空港を固定する.

[Step2]: 非ハブ空港とハブ空港の接続の仕方について局所探索を行う.

4-2-1 局所探索法 (Local Search)

解 x を少し変更して得られる近傍の中で, 改善されている解 x' があればその解に移動し, 改善している解がなければ探索を終える方法.



4-2-2 近傍の形成

非ハブ空港とハブ空港の接続を変更.

空港数 n , 設置するハブ空港数 p

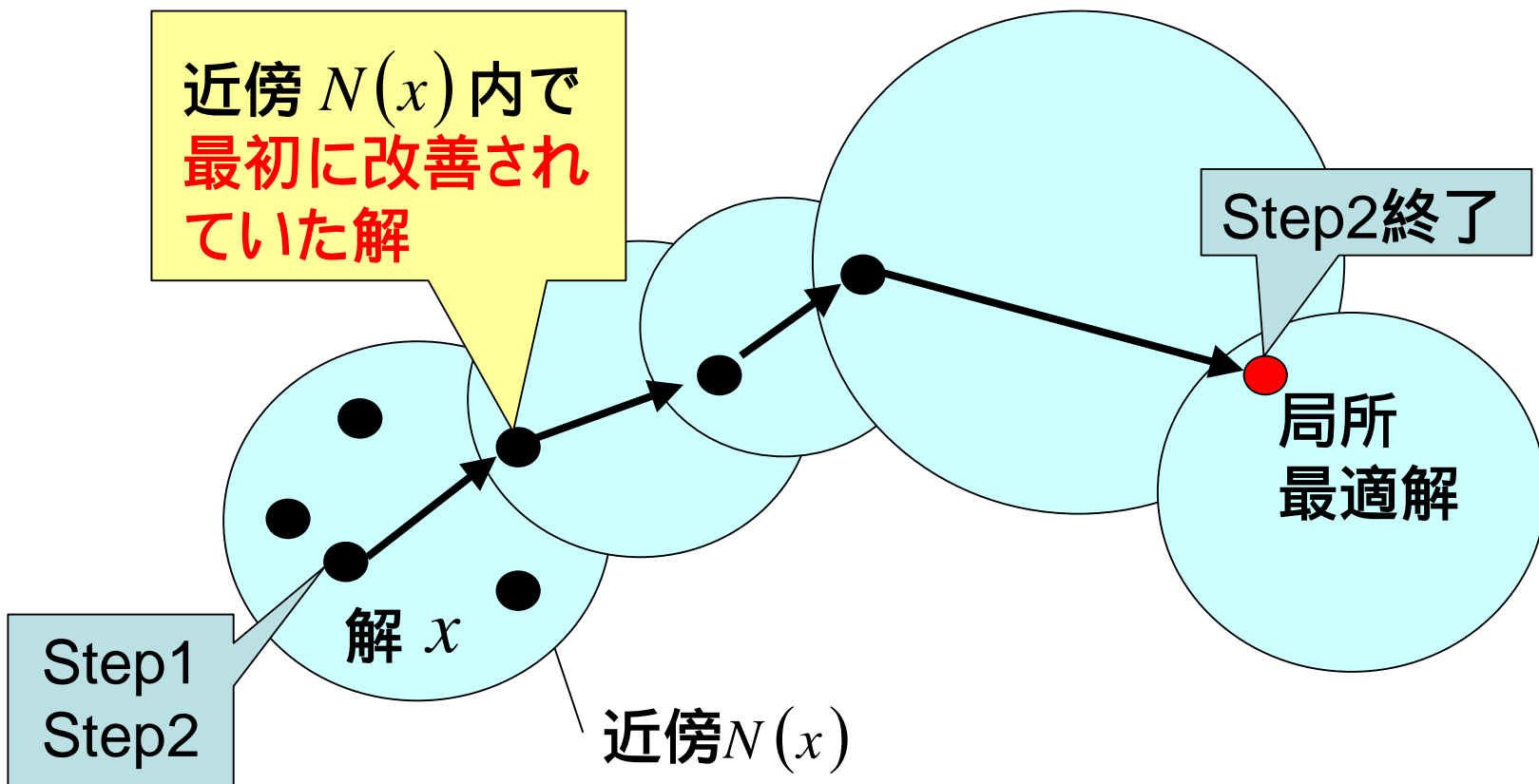
1つの非ハブ空港とハブ空港の接続 ${}_p C_2 + p$ 通り

非ハブ空港数 $n - p$

→ 近傍内の解の個数 $({}_p C_2 + p) * (n - p)$

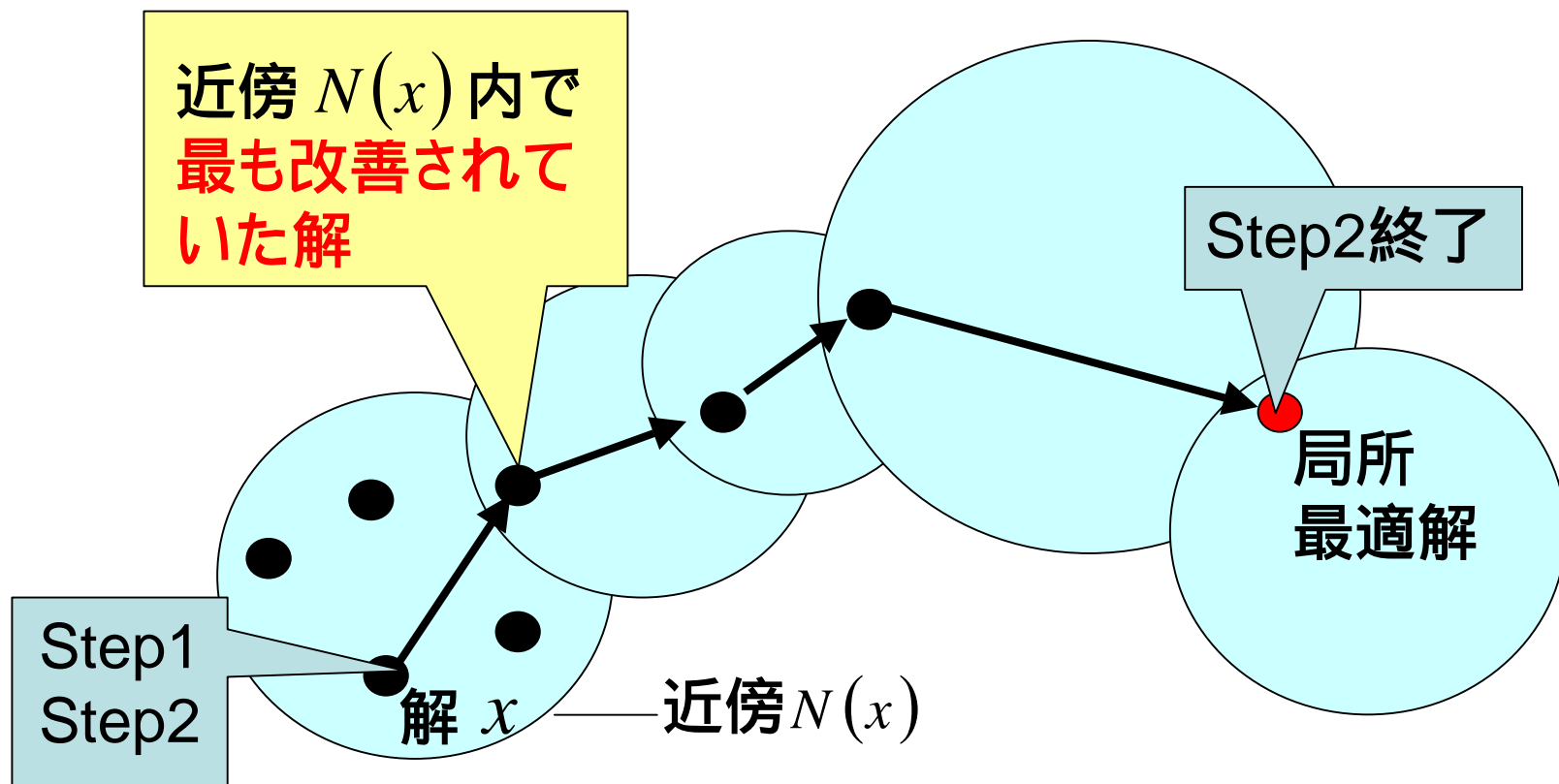
4-2-3 近傍内での移動の仕方

解法2: 即時移動戦略の利用



4-2-4 近傍内での移動の仕方

解法3: 最良移動戦略の利用



4-2-5 メタ戦略 (metaheuristics)

基本戦略である局所探索法などより時間がかかっても、精度向上を行うための汎用操作の探索戦略

ランダム多スタート局所探索法

反復局所探索法

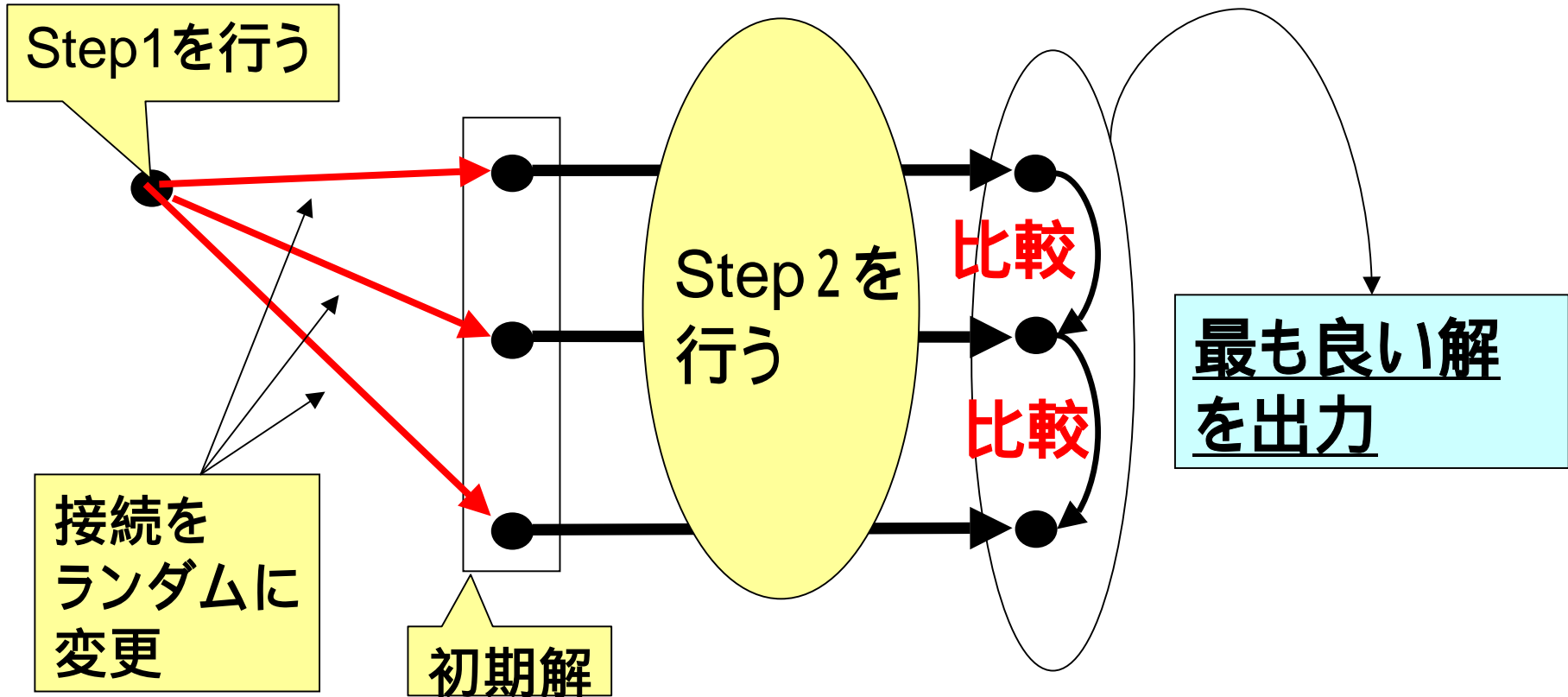
近傍内の移動の仕方



最良移動戦略の利用

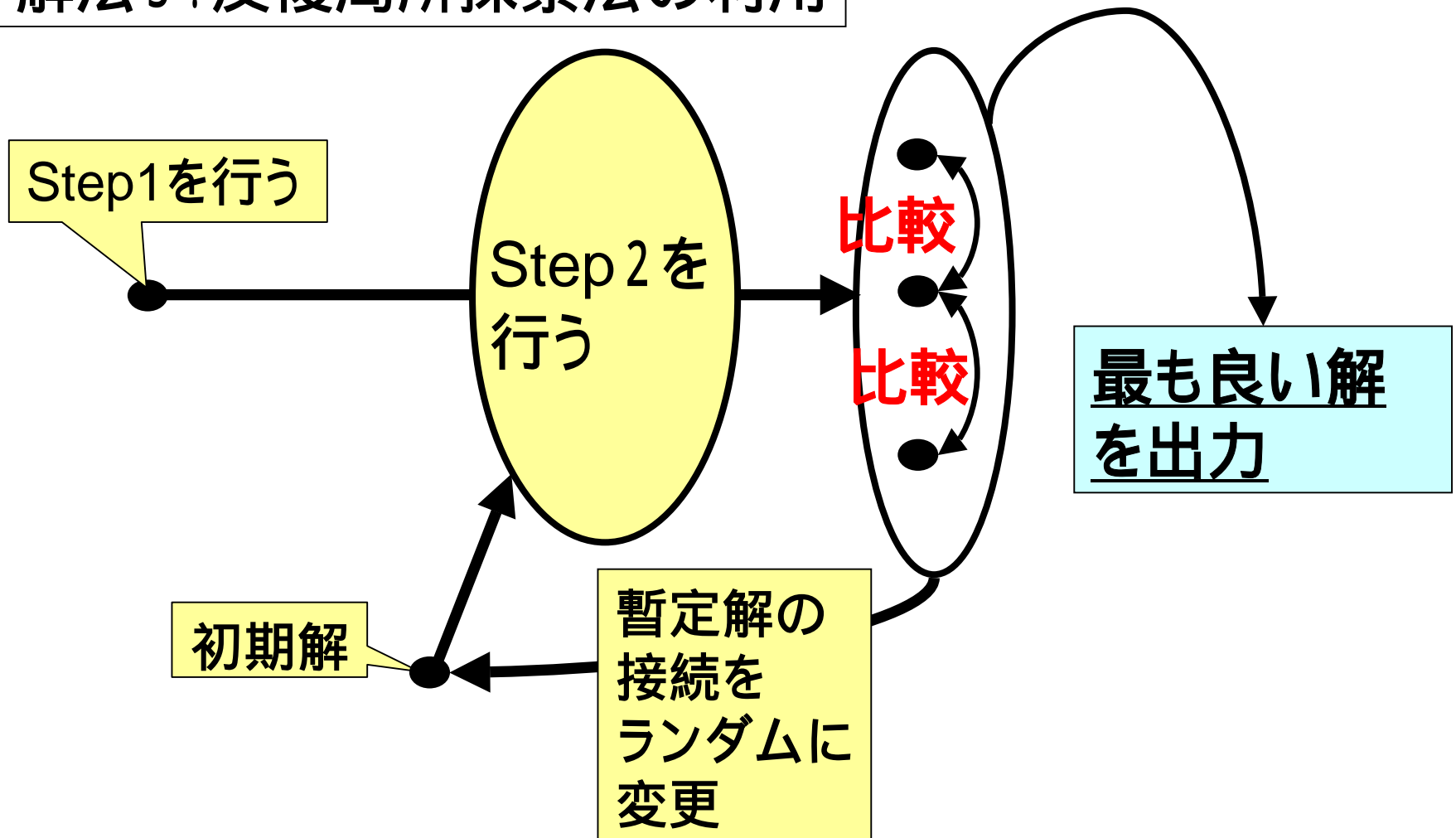
4-2-6 メタ戦略の利用

解法4：ランダム多スタート局所探索法の利用



4-2-7 メタ戦略の利用

解法5 : 反復局所探索法の利用



5. 実験

本実験で用いた実験データ

空港データ_{[2][3][4][7]} アメリカの空港間の距離, 空港の位置, 空港のある都市の人口

空港数 10, 25, 55 ハブ空港数 4

空港 i, j 間の輸送費用 C_{ij} = 空港間の距離

空港 i, j 間の乗客数 $W_{ij} = \frac{(\text{都市 } i \text{ の人口}) * (\text{都市 } j \text{ の人口})}{(\text{空港 } i, j \text{ 間の距離})^2}$

(小数点以下は四捨五入, $i \neq j$ $W_{ij} = 0 \rightarrow W_{ij} = 1$)

ハブ空港間値引率 $\alpha = 1$

ハブ空港の組み合わせ 10個 反復回数 100回

6. 実験結果及び考察

$n = 55$ のとき

表1: それぞれの解法の
総輸送費用の値

近似解	解法1	解法2, 3, 4, 5
1	73144394	72209362
2	73211630	73070794
3	73611396	73410786
4	73772032	72836406
5	73852100	73719692
6	74092524	73153740
7	74159254	73828646
8	74232130	73443138
9	74247500	74057448
10	74298676	73278694

接続を変更する解法2~5
総輸送費用の値は同じ

接続変更後, 総輸送費用
最小
近似解1

6. 実験結果及び考察

$n = 25$ のとき

表2: それぞれの解法の
総輸送費用の値

近似解	解法1	解法2, 3, 4, 5
1	8557338	8395576
2	8560004	8389734
3	8603598	8566142
4	8605416	8531516
5	8665684	8388962
6	8671240	8525942
7	8676878	8397628
8	8715412	8712564
9	8787726	8532732
10	8800714	8540504

接続を変更する解法2~5
総輸送費用の値は同じ

接続変更後, 総輸送費用
最小
近似解5

6. 実験結果及び考察

$n = 10$ のとき

表3: それぞれの解法の
総輸送費用の値

近似解	解法1	解法2, 3, 4, 5
1	1215952	1215952
2	1225300	1225240
3	1226086	1208886
4	1242570	1215292
5	1245444	1245444
6	1246664	1246084
7	1260100	1259720
8	1260356	1260356
9	1261130	1261130
10	1265594	1192888

接続を変更する解法2~5
総輸送費用の値は同じ

接続変更後, 総輸送費用
最小
近似解10

7. 結論

O'Kellyのモデルの
拡張・その問題を近
似解法で解く



解法の性能の評価

・ハブ空港固定
・接続について
近似解法の利用



性能はあまり
かわらないようだ

・ハブ空港, 全列挙
・非ハブ空港から距
離が1, 2番目に
近いハブ空港に
接続



空港数が多くなるにつれ
精度が高くなるように思わ
れる

8. 今後の課題

- 非ハブ空港とハブ空港の接続についての探索だけを行うのではなく、それを行うと同時にハブ空港の配置について変更するような解法を試みる。

9 . 参考文献

- [1]:M.O'kelly: "A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities", EJOR, 32, pp.393-404, 1987 .
- [2]:U.S.CensusBureau:"Statistical Abstract of the United States"
<http://www.census.gov/prod/2004pubs/03statab/pop.pdf>.
- [3]:「アメリカ国内飛行距離」:
<http://members.jcom.home.ne.jp/takdayo/kokunaihikou.htm>.
- [4]:「地球の歩き方」編集室:「地球の歩き方 B01 アメリカ 2003 ~ 2004年版」, ダイヤモンド・ビッグ社, 東京, 2003 .

9. 参考文献

- [5]:柳浦睦憲, 茨木俊秀:「組み合わせ最適化 メタ戦略を中心として」朝倉書店, 2001.
- [6]:佐々木美裕:“ハブ空港の配置モデル”, OR 経営の科学, vol45 no9, 社団法人日本オペレーションズリサーチ学会, p.p437-443, 2000
- [7]:二宮書店編集部:「基本高等地図」,二宮書店

付録

現実のハブ空港との比較

ノースウエスト	ユナイテッド	アメリカン	デルタ	本研究
Minneapolis	Chicago	Dallas/Ft.Worth	Atlanta	Cleveland
Detroit	Denver	Chicago	Cincinnati	Dallas/Ft.Worth
Memphis	San Francisco	San Jose	Dallas/Ft.Worth	Philadelphia
	Washington D.C	Raleigh/Durham	Salt Lake City	San Jose
		Nashville	Los Angeles	
			New York	

ハブ空港配置のメリット・デメリット

航空会社のメリット

- ・広範囲に分布する乗客を効率よく運べる。
- ・一人当たりの輸送費用削減
- ・需要少 路線廃止
- 需要多 路線増

利用者のメリット

- ・航空運賃 値下げ
- ・利用できる便数 増加

利用者のデメリット

- ・乗り換え回数 増加
- ・移動距離・時間 増加