

Hub-and-spoke network alliance and mergers: Price-location competition in the airline industry

Nicole Adler, Karen Smilowitz

福山 祥代

2010.11.27 博士・社会人論文ゼミ

論文の目的

航空会社の提携や統合における競争的均衡の分析に関する理論的な枠組みを提示する

背景

規制緩和などによって航空会社の国際的な提携や統合が進んでおり、これが利用者に及ぼす影響を予測し公益の観点から事前に検討する必要性が生じている

手法

ゲーム理論の枠組み

+

コストベースのネットワークデザイン

+

p -hub median formulation(O'Kelly,1987)

離散選択マーケットシェアモデル

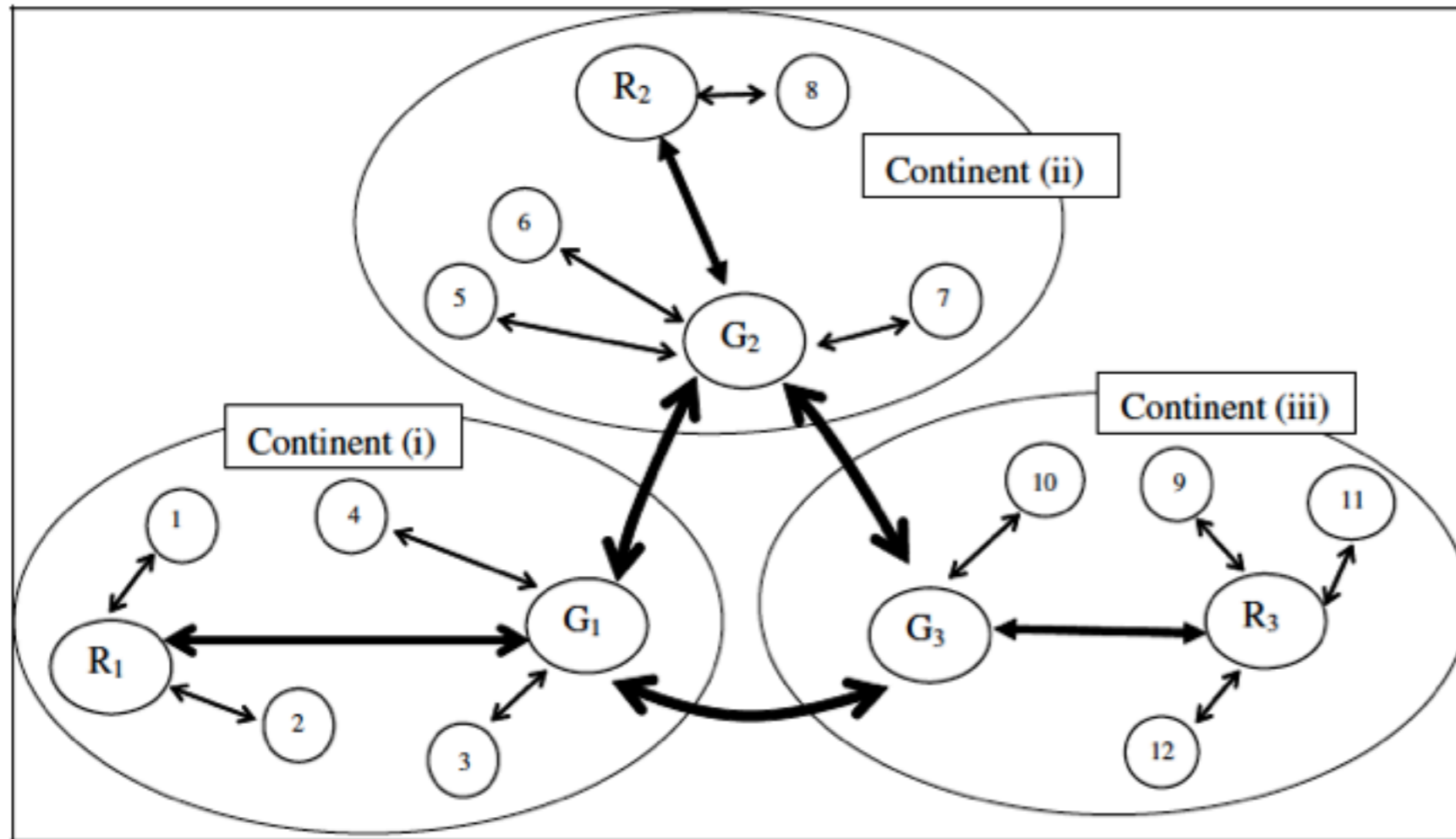
(Ben-Akiva and Lerman,1985)

航空会社が、hub-and-spoke(HS)ネットワーク上で
自ら及び競争相手のコストと収益を基に
ハブとする空港と提携相手を選択する

明示的もしくは潜在的な提携・統合の分析と
その航空物流及び旅客への影響の把握が可能

2.1 Network description

簡便化したネットワークモデルを用いる



G1,G2,G3:
International gateway
大陸をつなぐ

R1,R2,R3:
Regional hub
大陸内で
地方空港をつなぐ
(=spokes)

Fig. 1. Global hub-and-spoke network configuration.

仮定

International gateway は大陸ごとに各航空会社が 1 つ定める

International gateway は同じ大陸内のすべてのregional hubと接続する

同じ大陸内のすべてのhubは相互に接続する

すべてのinternational gatewayは大陸間で相互に接続する

2.2 p -hub median model

ネットワーク内での最適なハブの配置を決める問題

需要で重みづけられた総移動コストを最小にする各ノードのハブ化の需要を求める

Data: N ネットワーク内のすべてのノードのセット
 H ネットワーク内のすべての潜在的なハブ立地のセット $H \subseteq N$
 h_{ij} ノード $i \in N$ から $j \in N$ への出発地-目的地の需要 (時間あたりの旅客数)
 c_{ij} ノード $i \in N$ から $j \in N$ へ移動する旅行者1人あたりのコスト
 α ハブ間のリンクにおけるコスト低減係数
 P 配置するハブの数

Decision variables: X_j ハブがノード $j \in N$ に立地する場合1, そうでない場合0
 Y_{ij} ノード $i \in N$ がハブ $j \in N$ へに接続する場合1, しない場合0

$$\text{Min} \quad \sum_{i \in N} \sum_{k \in H} c_{ik} Y_{ik} \left(\sum_{j \in N} h_{ij} \right) + \sum_{k \in H} \sum_{i \in N} c_{ki} Y_{ik} \left(\sum_{j \in N} h_{ji} \right) + \alpha \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in H} \sum_{m \in H} h_{ij} c_{km} Y_{ik} Y_{jm} \quad (1a)$$

subject to

$$\sum_{j \in H} Y_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (1b)$$

$$\sum_{j \in H} X_j = P \quad (1c)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i \in N, j \in H \quad (1d)$$

$$X_j = \{0, 1\} \quad \forall j \in H \quad (1e)$$

$$Y_{ij} = \{0, 1\} \quad \forall i \in N, j \in H \quad (1f)$$

Min
$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in H} c_{ik} Y_{ik} \left(\sum_{j \in N} h_{ij} \right) + \sum_{k \in H} \sum_{i \in N} c_{ki} Y_{ik} \left(\sum_{j \in N} h_{ji} \right) + \alpha \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in H} \sum_{m \in H} h_{ij} c_{km} Y_{ik} Y_{jm} \tag{1a}$$

spoke(*i*)から
hub(*k*)に向かう
コストの合計

hub(*k*)から
spoke(*i*)に向かう
コストの合計

hub(*k*)-hub(*m*)間の
コストの合計

hub間の
コスト低減
係数

subject to

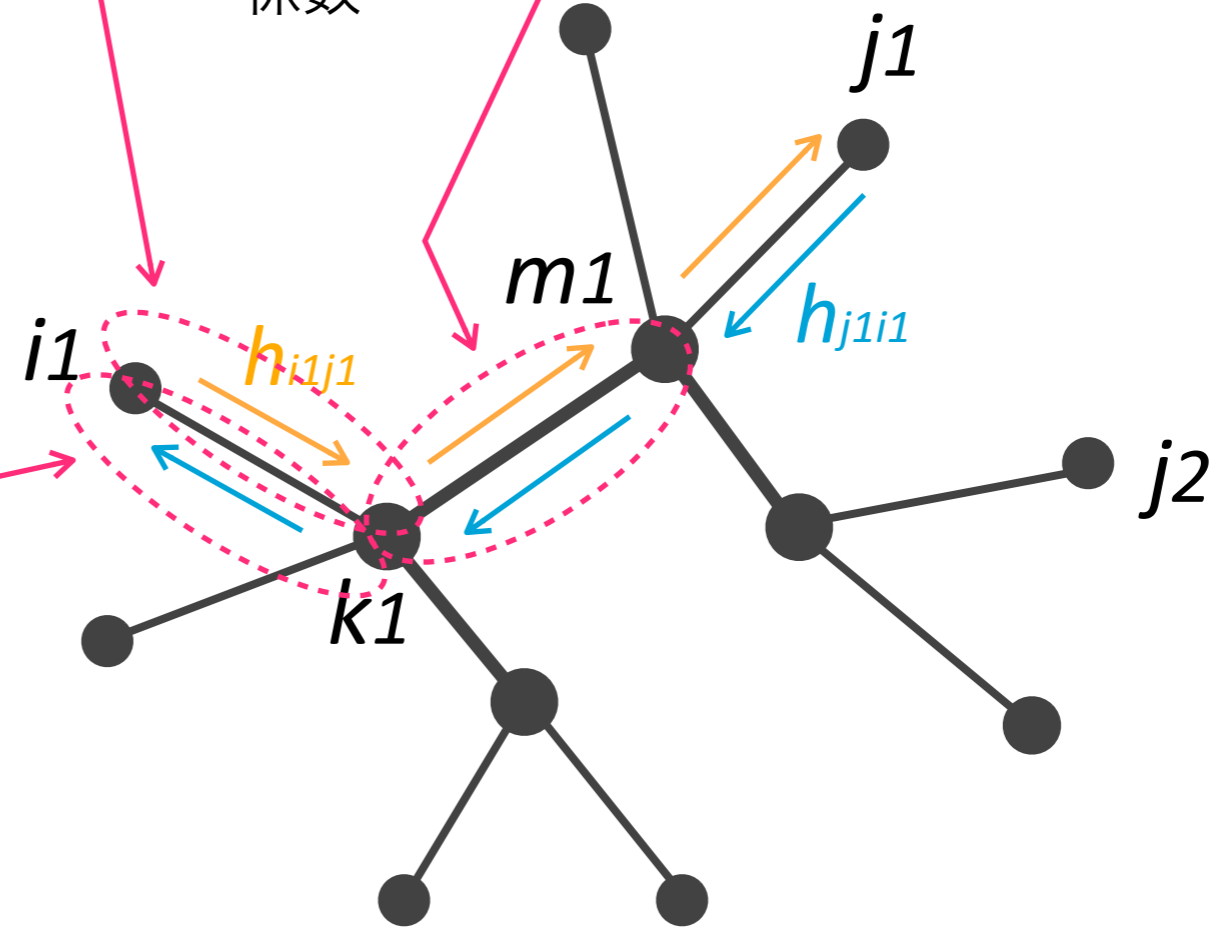
$$\sum_{j \in H} Y_{ij} = 1 \quad \forall i \in N$$

$$\sum_{j \in H} X_j = P$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i \in N, j \in H$$

$$X_j = \{0, 1\} \quad \forall j \in H$$

$$Y_{ij} = \{0, 1\} \quad \forall i \in N, j \in H$$



2.3 p -hub median model for alliances and mergers

提携・統合関係と空港選択の分析のためにモデルを修正

T 大陸 $t \in T$ のセット
 N^t 各大陸に含まれるノードのセット $N^t \subseteq N$
 $H^t \subseteq H$ 大陸 t に含まれるregional hubのセット
 \hat{Y}_{ir} ノード $i \in N$ からハブ $r \in H$ への出発地-目的地の需要 (時間あたりの旅客数)

$\hat{h}_r^0 = \sum_{i \in N^t} \sum_{j \in N \setminus N^t} (h_{ij} + h_{ji}) \hat{Y}_{ir}$ ハブ $r \in H$ とinternational gateway間を通る旅行者数
 $\hat{h}_{rs}^1 = \sum_{i \in N^{t(r)}} \sum_{j \in N^{t(s)}} h_{ij}$ international gateway $r \in H$ と $s \in H$ 間を通る旅行者数
 $N^{t(r)}, N^{t(s)}$: gateway r, s を含む大陸内のノードセット

β 間接的なルートになる場合のペナルティ
 Z_r ハブ $r \in H$ がinternational gatewayとして選ばれた場合1, そうでない場合0

$$\text{Min} \quad \sum_{t \in T} \left[\sum_{s \in H^t} \sum_{r \in H^t, r \neq s} (c_{rs} + \beta) \hat{h}_r^0 Z_s + \alpha \sum_{r \in H^t} \sum_{s \in H \setminus H^t} (c_{rs} + \beta) \hat{h}_{rs}^1 Z_r Z_s \right] \quad (2a)$$

subject to

$$\sum_{r \in H^t} Z_r = 1 \quad \forall t \in T \quad (2b)$$

$$Z_r = \{0, 1\} \quad \forall r \in H \quad (2c)$$

行程数（乗継ぎの多さ）に
応じて増えるペナルティ

$$\text{Min} \sum_{t \in T} \left[\sum_{s \in H^t} \sum_{r \in H^t, r \neq s} (c_{rs} + \beta) \hat{h}_r^0 Z_s + \alpha \sum_{r \in H^t} \sum_{s \in H \setminus H^t} (c_{rs} + \beta) \hat{h}_{rs}^1 Z_r Z_s \right] \quad (2a)$$

hub(r)を経由して
international gateway(s)
に接続する
コストの合計

international gateway(r)-(s)間の
コストの合計

international
gateway間の
コスト低減
係数

$$\hat{h}_{rs}^1 = \sum_{i \in N^t(r)} \sum_{j \in N^t(s)} h_{ij}$$

international gateway(r)-(s)間の
旅行者数の合計

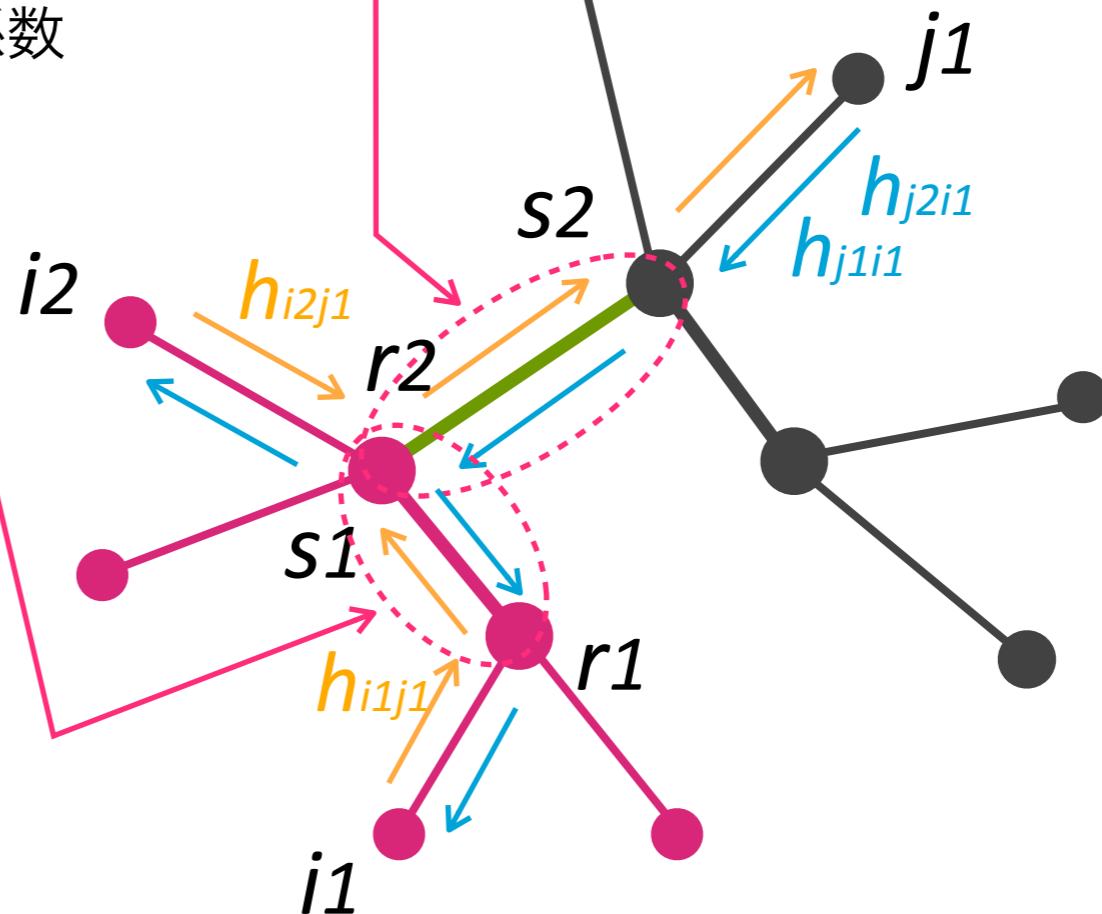
$$\hat{h}_r^0 = \sum_{i \in N^t} \sum_{j \in N \setminus N^t} (h_{ij} + h_{ji}) \hat{Y}_{ir}$$

hub(r)を通過して
international gatewayに接続する
旅行者数の合計

subject to

$$\sum_{r \in H^t} Z_r = 1 \quad \forall t \in T$$

$$Z_r = \{0, 1\} \quad \forall r \in H$$



2.4 cost functions

距離(great circle distance) : D_{ij} と

座席数 : S_{ij} が,

出発地 i - 目的地 j 間の総飛行コストの主要因

$$C_{ij}^{short} = (D_{ij} + 722) * (S_{ij} + 104) * \$0.019 \quad (3a)$$

$$C_{ij}^{long} = (D_{ij} + 2200) * (S_{ij} + 211) * \$0.0115 \quad (3b)$$

(3a) : 5000km未満をカバーする短距離から中距離運搬市場でのコスト

(3b) : 5000km以上をカバーする長距離運搬市場でのコスト

※2001年のデータから作成

単純化のために,

長距離では390席, 短距離では170席, 短距離のハブ間では270席と設定

コストはパイロット, クルーの賃金, 燃料, 維持管理費, 空港使用料を含む税金やその他一般管理費などは総利益の中から差し引かれるものとする

2.5 Network example

ヨーロッパの3空港

- London-Heathrow(LHR)
- Charles de Gaulle(CDG)
- Frankfurt(FRA)

アメリカの3空港

- Chicago-O'Hare(ORD)
- Los Angeles(LAX)
- Newark(EWR)

● ● 事例においてハブとする空港

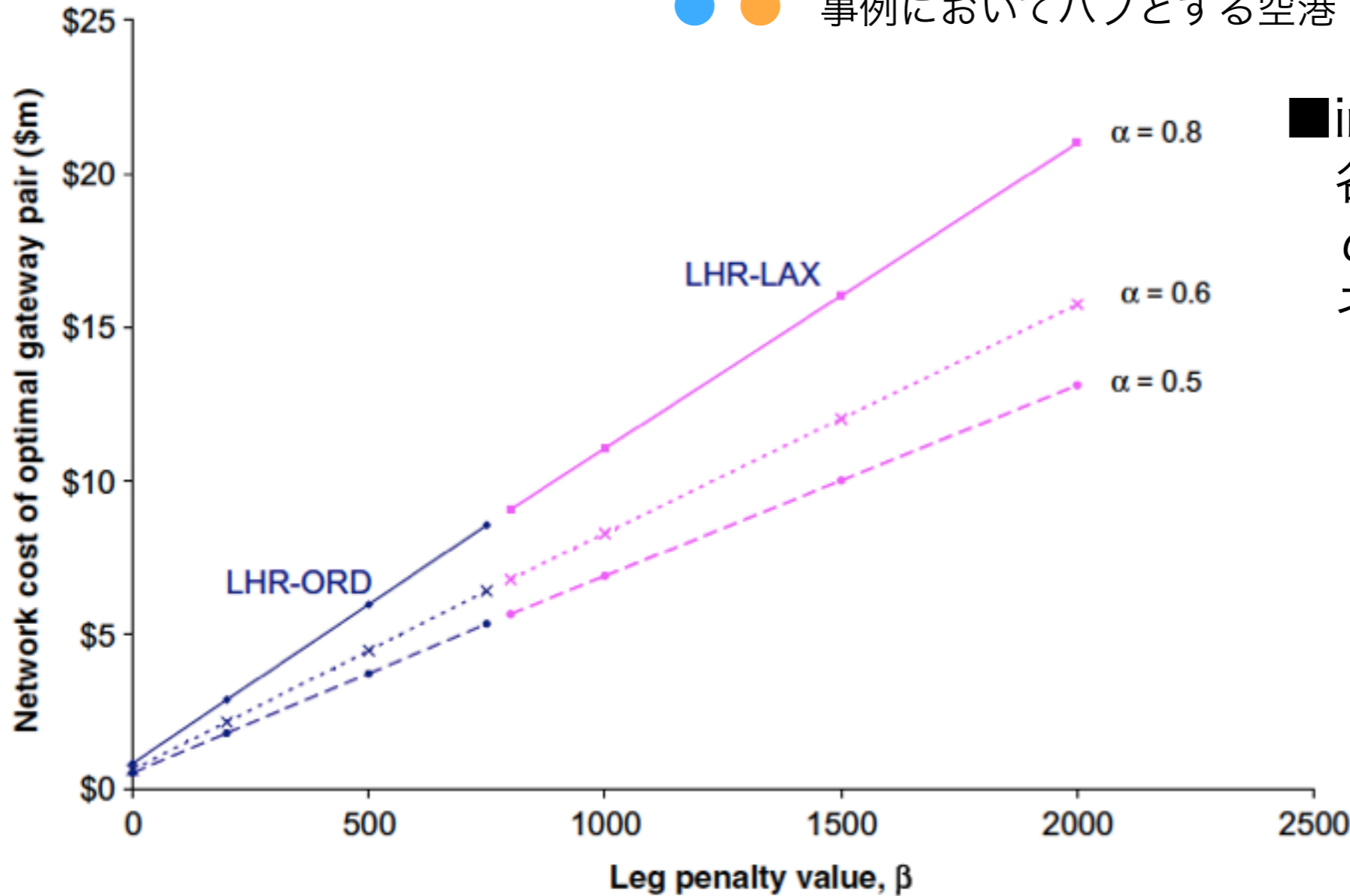


Fig. 2. Network costs and gateway choice as a function of α and β .

■ international gatewayの各組み合わせに対して α , β を変えたときのネットワークコストの変化

- $\beta \leq 750$ のときは LHR-ORD が最適解, β が増えると LHR-LAX に移行
- 乗継ぎ数はハブの選択に限定的な影響を与える
- 行程数は供給側でなく需要側の要因として検討する

3. Game-theoretic competitive merger model

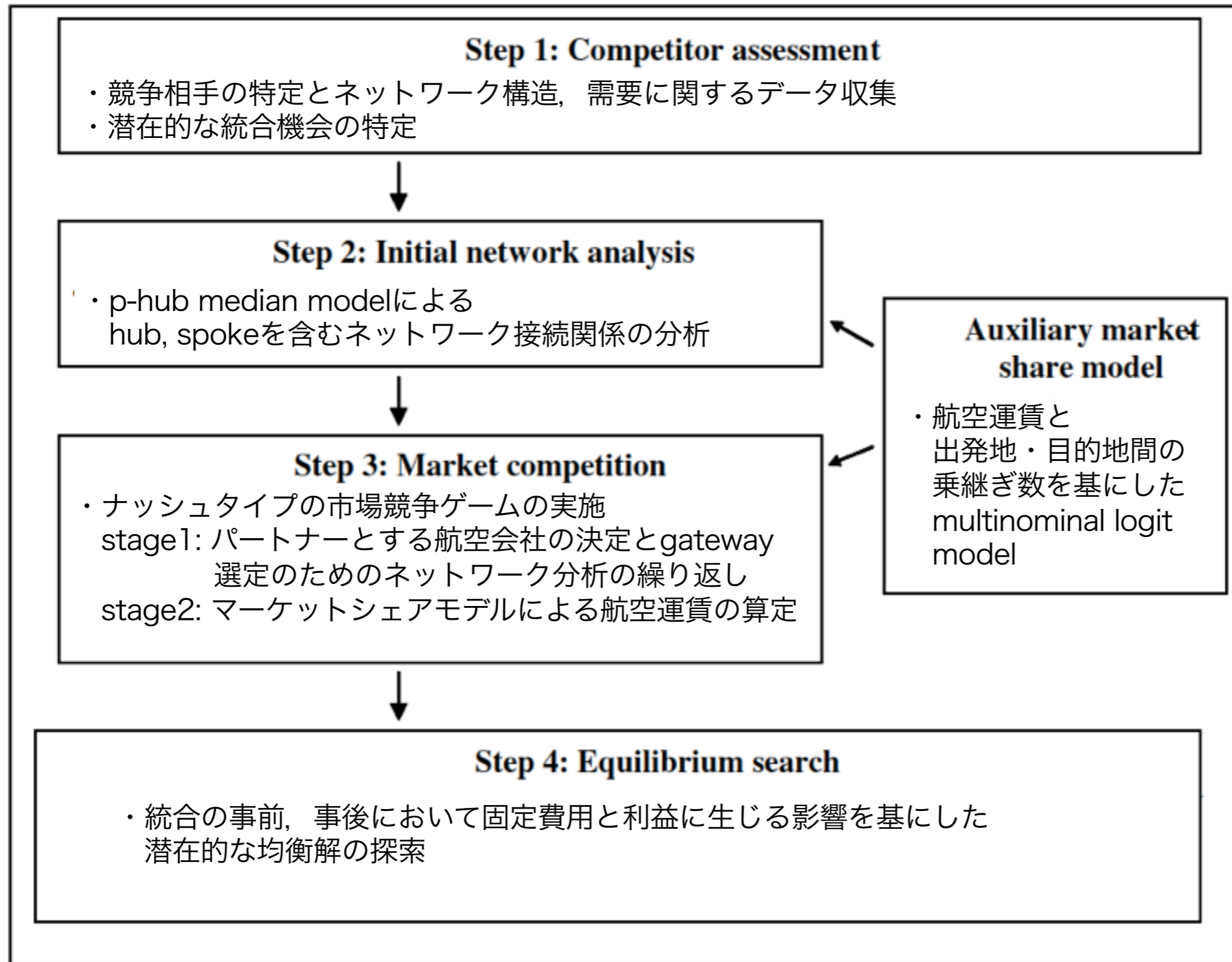


Fig. 3. Game-theoretic competitive merger framework.

profitability of airline ゲームのstage2で用いるペイオフの計算

Data:

- A 航空会社のセット
- δ 運賃一行程数のトレードオフにおける航空運賃の重要度を設定するロジットモデルでの重み
- V 時間あたりの金額ベースでの時間価値
- L_{ija} 航空会社 $a \in A$ を利用したノード $i \in N$ から $j \in N$ へのトリップに含まれる行程数
- ρ 旅行者が代替案を選ぶもしくはは旅行しない可能性を超える予約の値
- \hat{Y}_{ira} 航空会社 $a \in A$ を利用するノード $i \in N$ からハブ $r \in H$ への接続が存在する場合1, そうでない場合0
- \hat{X}_{ra} ノード $r \in H$ が航空会社 $a \in A$ のregional hubである場合1, そうでない場合0
- \hat{Z}_{ra} ノード $r \in H$ が航空会社 $a \in A$ のinternational hubである場合1, そうでない場合0

Decision variables: p_{ija} i から j に航空会社 a で移動する場合の運賃
 M_{ija} i から j への航空会社 a のマーケットシェア (p_{ija} に從属)

$$\begin{aligned} \text{Max}_{p_{ija}} \sum_{i \in T} \sum_{i \in N^t} & \left(\sum_{\substack{j \in N \\ i \neq j}} p_{ija} M_{ija} h_{ij} - \sum_{r \in H^t} c_{ir} \hat{Y}_{ira} \sum_{\substack{j \in N^t \\ i \neq j}} (M_{ija} h_{ij} + M_{jia} h_{ij}) - \sum_{\substack{j \in N^t \\ i \neq j}} \sum_{\substack{r \in H^t \\ s \neq r}} \sum_{s \in H^t} \alpha c_{rs} M_{ija} h_{ij} \hat{Y}_{ira} \hat{Y}_{jsa} \right. \\ & \left. - \sum_{\substack{j \in N \setminus N^t \\ i \neq j}} \sum_{r \in H^t} \sum_{s \in H^t} \alpha c_{rs} (M_{ija} h_{ij} + M_{jia} h_{ji}) \hat{Y}_{ira} \hat{Z}_{sa} - \sum_{\substack{j \in N \setminus N^t \\ i \neq j}} \sum_{r \in H^t} \sum_{s \in H \setminus H^t} \alpha c_{rs} M_{ija} h_{ij} \hat{Z}_{ra} \hat{Z}_{sa} \right) \end{aligned} \quad (4a)$$

$$\text{where } M_{ija} = \frac{e^{-(\delta p_{ija} + 2V(L_{ija} - 1))}}{e^{-\rho} + \sum_{a' \in A} e^{-(\delta p_{ija'} + 2V(L_{ija'} - 1))}} \quad (4b)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Max}_{P_{ija}} \sum_{t \in T} \sum_{i \in N^t} & \left(\sum_{\substack{j \in N \\ i \neq j}} P_{ija} M_{ija} h_{ij} - \sum_{r \in H^t} c_{ir} \hat{Y}_{ira} \sum_{\substack{j \in N^t \\ i \neq j}} (M_{ija} h_{ij} + M_{jia} h_{ij}) - \sum_{\substack{j \in N^t \\ i \neq j}} \sum_{r \in H^t} \sum_{\substack{s \in H^t \\ s \neq r}} \alpha c_{rs} M_{ija} h_{ij} \hat{Y}_{ira} \hat{Y}_{jsa} \right. \\
 & \left. - \sum_{\substack{j \in N \setminus N^t \\ i \neq j}} \sum_{r \in H^t} \sum_{s \in H^t} \alpha c_{rs} (M_{ija} h_{ij} + M_{jia} h_{ji}) \hat{Y}_{ira} \hat{Z}_{sa} - \sum_{\substack{j \in N \setminus N^t \\ i \neq j}} \sum_{r \in H^t} \sum_{s \in H \setminus H^t} \alpha c_{rs} M_{ija} h_{ij} \hat{Z}_{ra} \hat{Z}_{sa} \right) \quad (4a)
 \end{aligned}$$

航空会社aの
総運賃収入

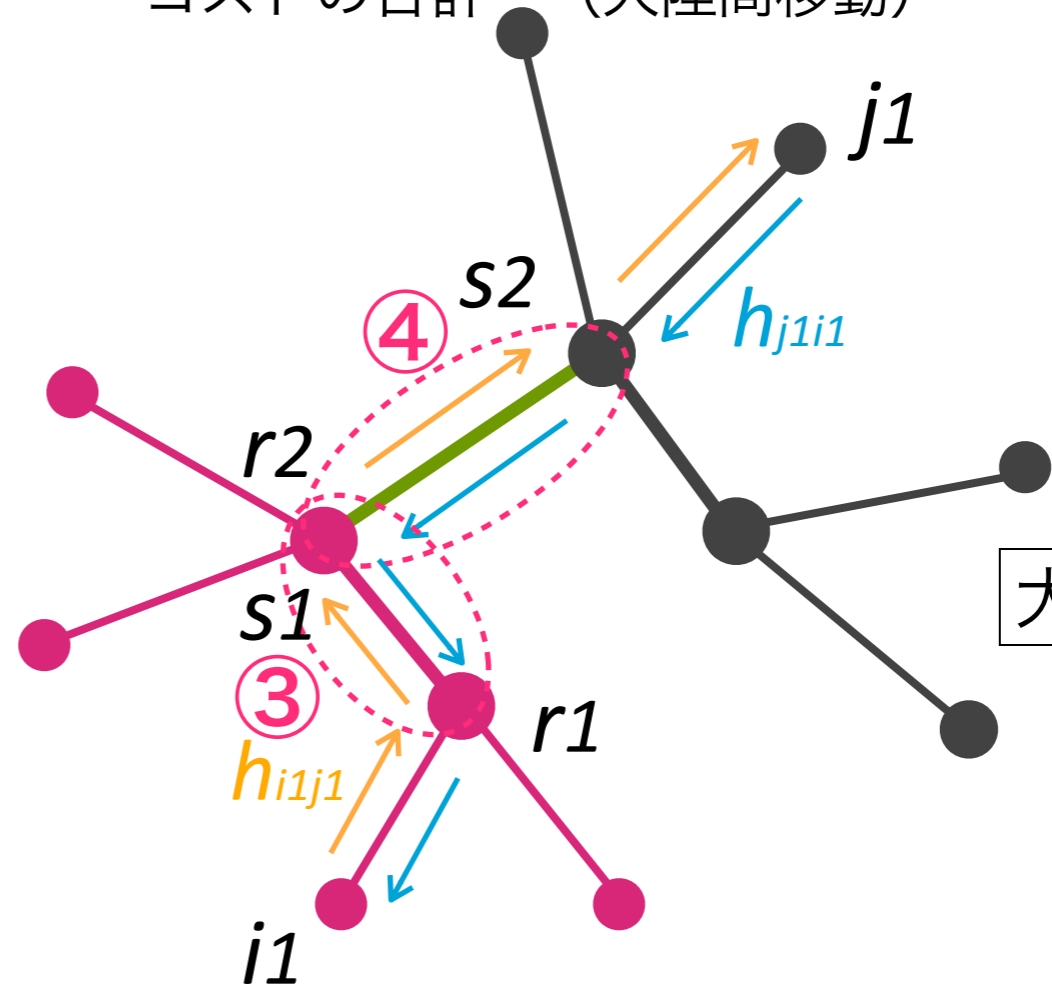
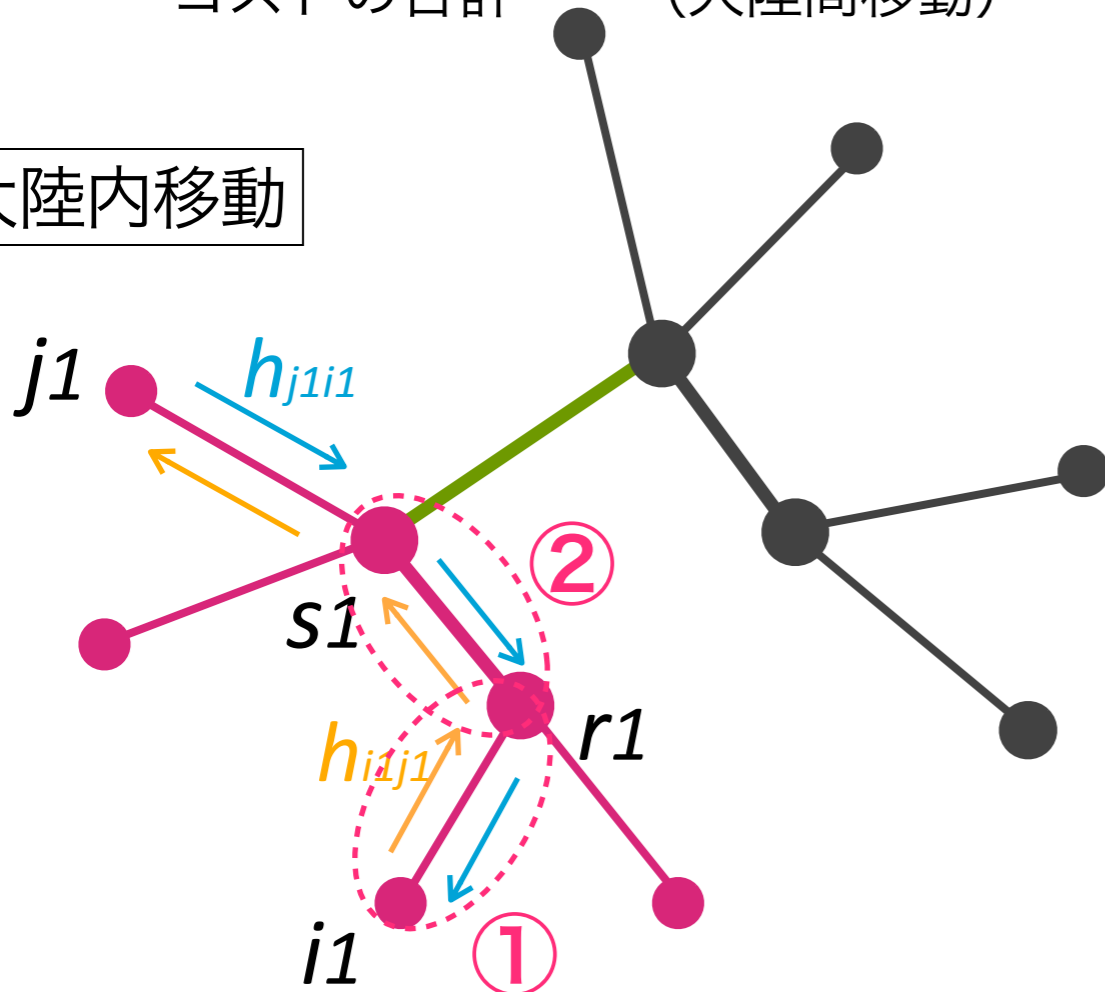
spoke(i)とhub(r)間の
コストの合計 (大陸内) ①

hub(r)とhub(s)間の
コストの合計 (大陸内) ②

③ hub(r)を経由して
international gateway(s)に接続する
コストの合計 (大陸間移動)

④ international gateway(r)-(s)間の
コストの合計 (大陸間移動)

大陸内移動



大陸間移動

market share model

直接行けないことによる時間損失と不便さを
金額的価値で表現

→追加される着陸-出発1回あたり2時間の損失
総損失時間に、時間価値のパラメータ(V)を
かけたものを、不便さの指標とする

行程数とのトレードオフで
重み付けされた航空運賃

$$M_{ija} = \frac{e^{-(\delta p_{ija} + 2V(L_{ija} - 1))}}{e^{-\rho} + \sum_{a' \in A} e^{-(\delta p_{ija'} + 2V(L_{ija'} - 1))}} \quad (4b)$$

A 航空会社のセット

δ 運賃一行程数のトレードオフにおける航空運賃の重要度を設定するロジットモデルでの重み

V 時間あたりの金額ベースでの時間価値

L_{ija} 航空会社 $a \in A$ を利用したノード $i \in N$ から $j \in N$ へのトリップに含まれる行程数

ρ 旅行者が代替案を選ぶもしくはは旅行しない可能性を超える予約の値

p_{ija} i から j に航空会社 a で移動する場合の運賃

M_{ija} i から j への航空会社 a のマーケットシェア (p_{ija} に從属)

sets prices (step3)

一旦提携・統合相手とネットワークが決まった時点での運賃の設定

\hat{c}_{ija} マーケット(i,j)での航空会社 a のコスト

航空会社2社の場合もしくは同大陸内での分析の場合

$$(1 - M_{ija})(p_{ija} - \hat{c}_{ija}) = \frac{1}{\delta} \quad (5a)$$

航空会社3,4社の場合で出発地から目的地への経路が大陸間を横断する場合

$$(p_{ija} - \hat{c}_{ija}) - \frac{1}{\delta} = \sum_{a' \in A} (p_{ija'} - \hat{c}_{ija'}) M_{ija'} \quad (5b)$$

- (i) 価格がコストのパラメータとなる傾向があるとき、式の左辺は0に近づく
- (ii) 価格が高くなると、マーケットシェアが0に近づき、式の左辺が増加する

これによって、式の左辺が定数項 $1/\delta$ と等しくなるようなバランスが見つかる
定数項は、運賃と行程の長さのトレードオフを釣り合わせるロジットモデルの重みと
相関がある

4. Application of the competitive merger model

■分析対象の設定（模式的な例で検討）

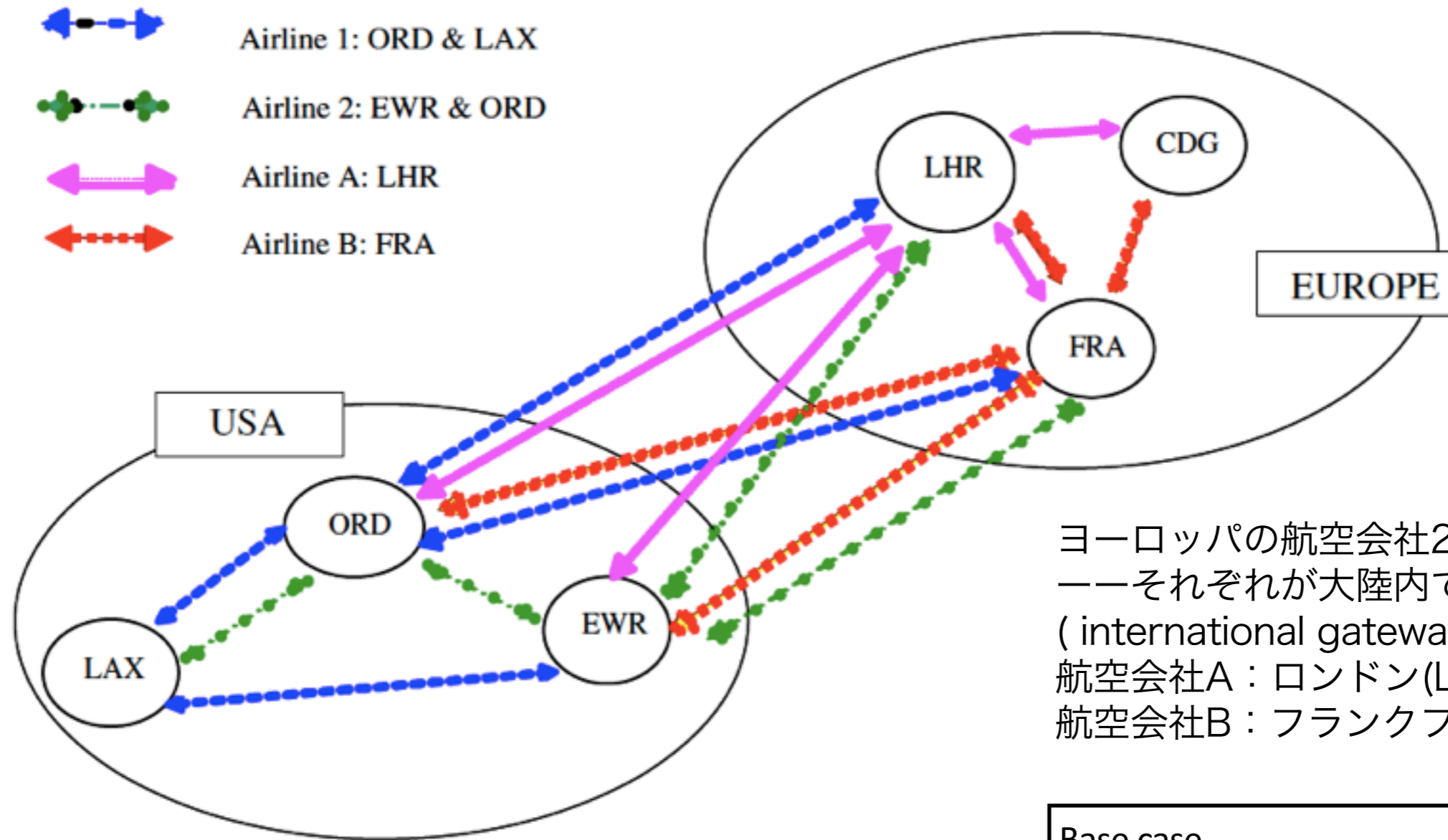


Fig. 4. Base case with no mergers.

アメリカの航空会社2社
 —それぞれが大陸内で2つのハブをもつ
 international gateway / regional hub
 航空会社1： シカゴ(ORD) / ロサンゼルス(LAX)
 航空会社2： ニューアーク(EWR) / シカゴ(ORD)

ヨーロッパの航空会社2社
 —それぞれが大陸内で1つのハブをもつ
 (international gateway = regional hub)
 航空会社A： ロンドン(LHR)
 航空会社B： フランクフルト(FRA)

Base case
 4社の独立したプレイヤー
 各社2路線の大西洋横断フライトをもつ



ここから例えばアメリカの1社とヨーロッパの1社が統合すると、プレイヤーは3者になる

step3. Market competition

case1: base case

4社が全く提携，統合なしの状態

アメリカの2社のみがinternational gatewayの選択肢をもつ

(単位：千ドル)

Table 1
Four-airline sub-game with different international gateways: base case

		Airline 2's gateway choice							
		ORD				EWR			
Airline 1's gateway choice									
ORD		1058	1245	331	110	389	690	331	110
LAX		500	201	332	110	152	102	331	110
		↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
		Airline 1	Airline 2	Airline A	Airline B	Airline 1	Airline 2	Airline A	Airline B

Airline1 LAXよりORDを選択
(1058 > 500, 389 > 152)

Airline2 EWRよりORDを選択
(1245 > 690, 201 > 102)



部分ゲーム完全ナッシュ均衡
(ORD, ORD)

これらの選択はAirline A, Bの利益にはほとんど影響しない

step3. Market competition

case2: 2 fully merged airlines

大陸の異なる航空会社との統合を条件とする設定

■航空会社1とAの統合の場合

Table 2
Payoff computation for merger between airlines 1 and A

	Profit in \$000s		
	Airline 1	Airline A	Total
Profit prior to merger	1058	331	1389
Profit after merger			1320
Split excess profits/loss from merger equally	-34.5	-34.5	-69
Total profit after merger	1023.5	296.5	1320

統合した航空会社の利益は、
統合しない状態でのそれぞれの社の能力に従って分配され、
統合に伴う追加の利益または損失は、均等に分配されると仮定

利益分配の計算は均衡の結果に影響するので、
結果の安定性の検証のためには
分配ルールの代替案も試されることが必要。
ただし統合後は1社しか残らないので、
ルールは人為的に決められる。



step3. Market competition

case2: 2 fully merged airlines

Table 3
Fully merged game with two airlines remaining in marketplace

	Airline 2A's gateway choice		Airline 2B's gateway choice	
	ORD	EWR	ORD	EWR
Airline 1A's gateway choice				
ORD			1691	1266
LAX			1658	1061
Airline 1B's gateway choice				
ORD	1000	1797	620	2042
LAX	1104	1742	508	1793

■ 1-Aの統合+2-Bの統合の場合のゲーム

Airline 1A LAXよりORDを選択
(1691 > 1658, 1320 > 1060)

Airline 2B ORDよりEWRを選択
(1532 > 1266, 1115 > 1061)



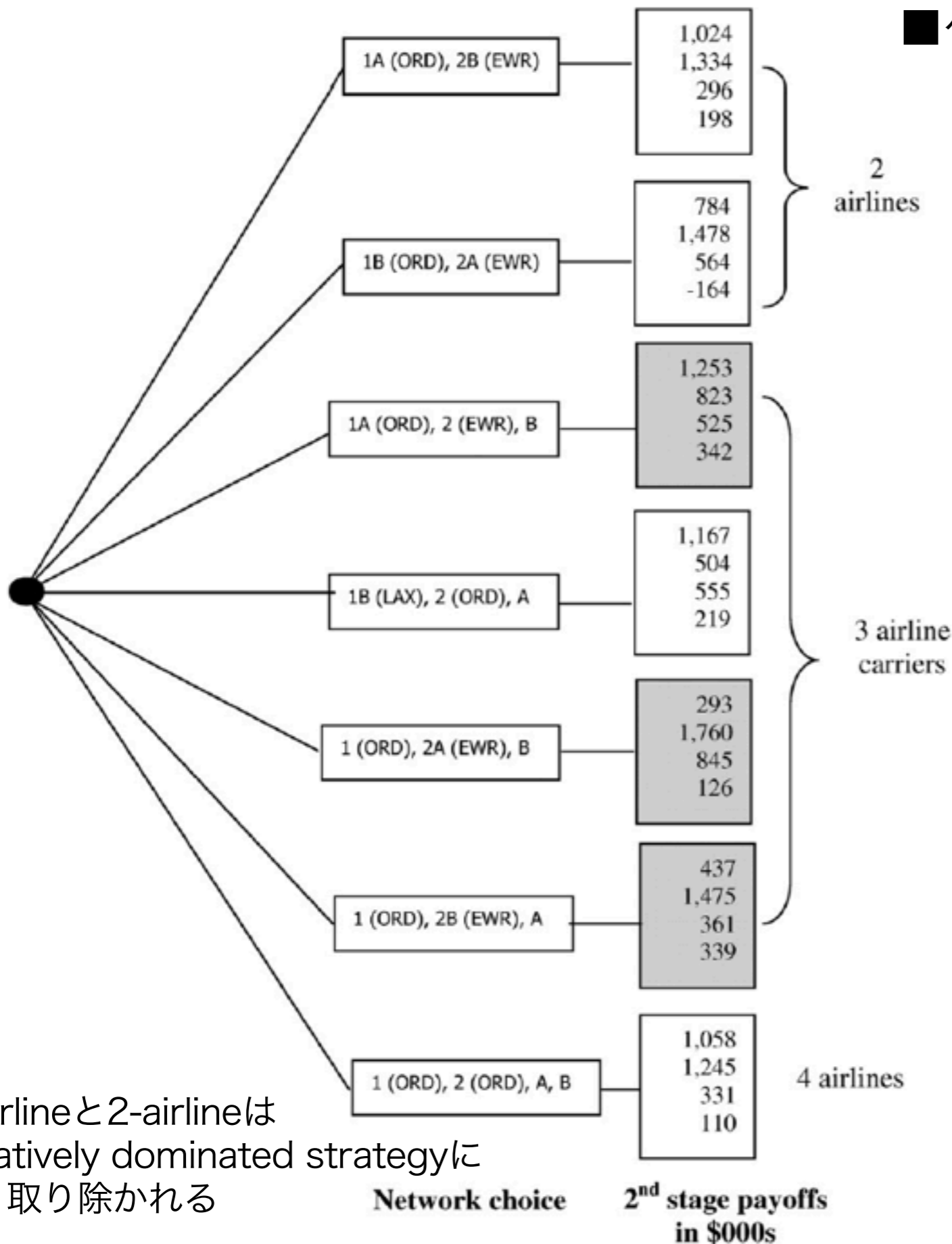
部分ゲーム完全ナッシュ均衡
(ORD, EWR)

■ ゲームのstage2でのサブゲームの結果

ゲーム全体での1つの結果は得られず、3つの潜在的均衡が存在する

ここから得られる結論

1. 4社のうち2社の統合が望ましいという結果になった。
ただし3社の市場が現れるゲームのためのさらに詳しい情報またはルールを導入して検証する必要がある。
2. 4社から2社統合して3社になった場合、international gatewayの選択が変化した。
3. stage2での平均運賃は、4社から3社になった場合、減少した。
これはこのような統合が直行便の選択肢を減らす一方で利用者の利益にもなることを示している。
また3社の場合すべての社の利得の合計は4社の場合よりわずかに上昇した。これは大陸間移動のコストが α により低減したことによる。



4-airlineと2-airlineは iteratively dominated strategyにより取り除かれる

Fig. 5. Sub-game equilibria of merger illustration.

sensitivity analysis

hub-hub間のコスト低減係数を変化させて結果の頑強性を確認
 →係数の値に関わらず同じ結果が得られた

Table 4
 Results of sensitivity analysis for hub-to-hub cost discount factor

		Airline 2's gateway choice							
		ORD				EWR			
<i>For $\alpha = 1.0$</i>									
Airline 1's gateway choice									
ORD		983	1307	331	110	258	726	332	110
LAX		467	208	332	110	30	33	332	110
<i>For $\alpha = 0.75$</i>									
Airline 1's gateway choice									
ORD		1058	1245	331	110	389	690	331	110
LAX		500	201	332	110	152	102	331	110
<i>For $\alpha = 0.5$</i>									
Airline 1's gateway choice									
ORD		1134	1183	331	110	505	656	331	110
LAX		556	176	343	114	265	173	331	110

4.4 Analysis of strategic alliance

統合ではなく提携について検討

■ 仮定

ハブ間のコスト低減係数を
 ハブをもつ航空会社 $\alpha_0=0.75$
 提携航空会社間 $\alpha_1=0.85$
 に設定

提携会社間の運賃を距離と航空機の大きさに応じて分配

■ 結果

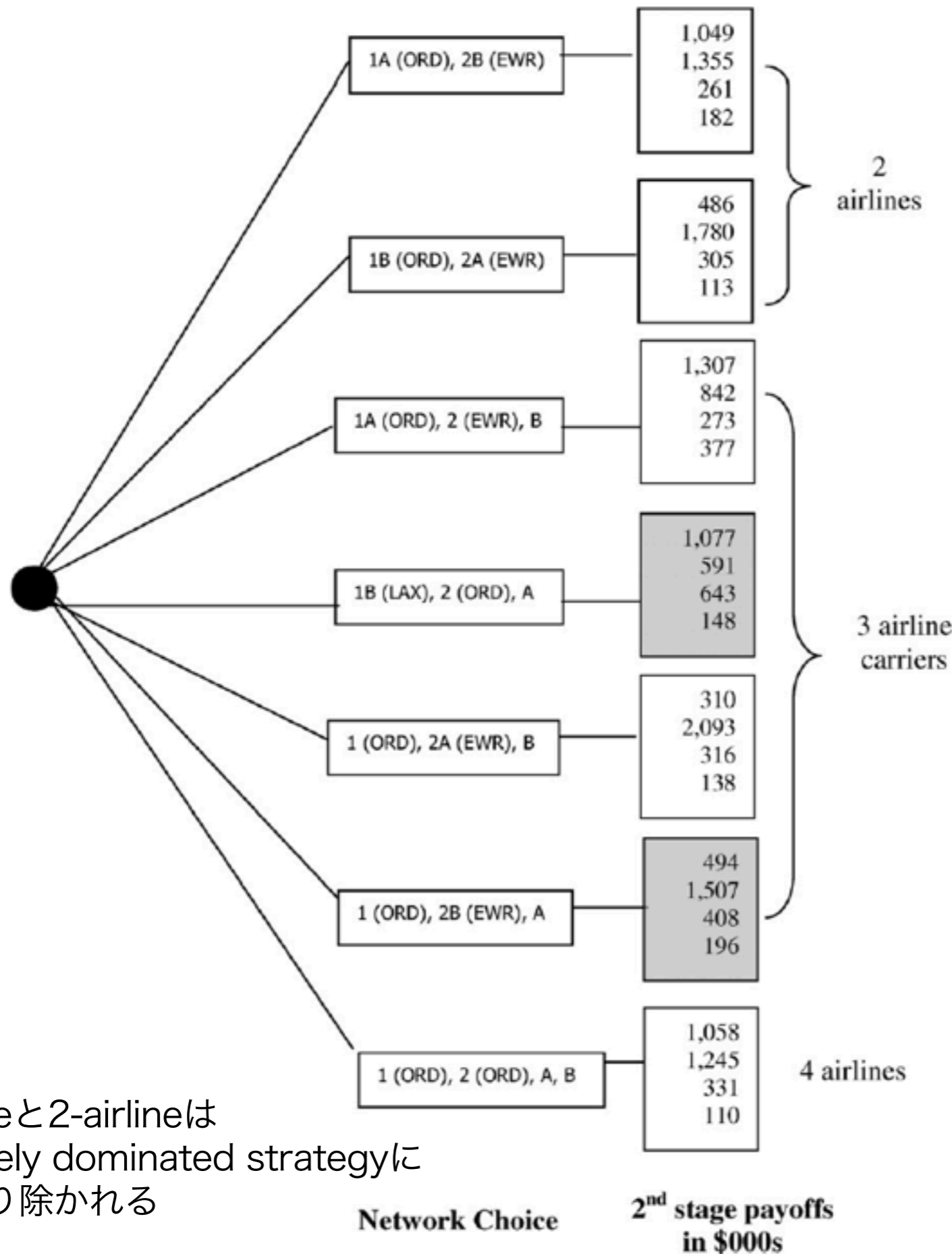
2つの潜在的均衡が存在

ここでは1も2もBとの提携を希望

2とBの提携のほうが実現可能性が高い(196 > 148)

これは統合の場合と異なる結果だが、一方で4社のうち2社の結合というパターンは同様

このとき提携できなかった1社の利得は著しく低下する



4-airlineと2-airlineは iteratively dominated strategyにより取り除かれる

Fig. 6. Results of strategic alliances for $\alpha_0 = 0.75$ and $\alpha_1 = 0.85$.

結論

航空会社の提携・統合による影響を，ネットワークによる利益の分析によって検討する基礎的な枠組みを示した。

6つのノードによる模式的な例を用いて分析を行い，4社のうち2社のみが提携・統合するという状態が最も実現可能性が高いという結果が得られた。このとき提携2社は正の効果を得るが，提携に失敗したアメリカの1社は大きな負の影響を受けることがわかった。

今後の方向性

- ・ 立地や配置変更，運賃に関するアルゴリズムの拡張
- ・ 複数の配置変更やハブ間のバイパス的な直行便を含むモデルへの拡張
- ・ マーケットシェアモデルについて，便数や航空機の大きさを考慮したモデルへの拡張
- ・ ゲームの第3段階の検討
- ・ ゲーム終了時期の検討