

OD交通量データの視覚的表現手法 に関する研究

前客員研究員 清水英範（東京大学）

共同研究者 井上 亮（東北大学）

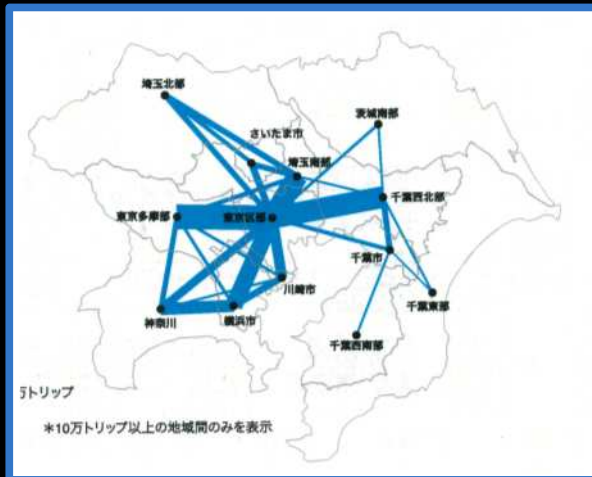
OD交通量のデータ

例) 全国幹線旅客純流動調査(2005) 都道府県間流動表 年間(全機関・全目的) 一部

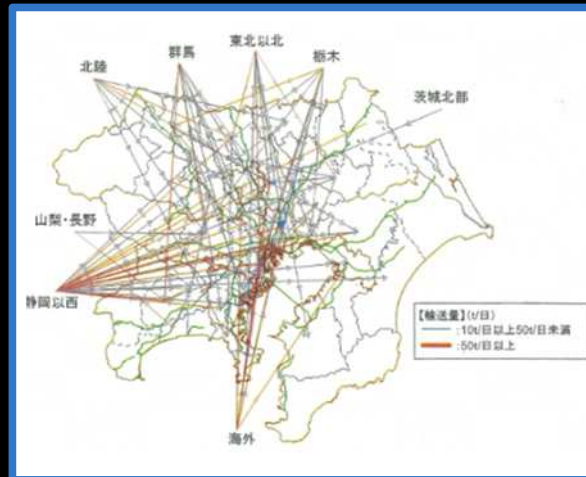
(単位:千人/年)																						
目的地		1	48	49	50	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
出発地		道北	道東	道央	道南	青森	岩手	宮城	秋田	山形	福島	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉	東京	川	新潟	富山	石川	福井
1	道北	—	3758	13107	155	29	6	27	12	14	16	33	29	26	81	96	298	156	13	9	17	2
48	道東	3758	—	3402	121	9	10	31	5	8	23	12	10	12	36	63	190	95	7	11	5	2
49	道央	13107	3402	—	3863	161	74	294	62	48	73	183	80	57	404	689	2099	769	82	58	62	23
50	道南	155	121	3863	—	364	26	56	31	11	14	16	8	11	44	75	202	105	19	5	5	6
2	青森	29	9	161	364	—	6126	1113	3078	86	121	76	61	16	167	200	718	282	35	4	8	3
3	岩手	6	10	74	26	6126	—	8763	3937	462	466	90	161	87	336	292	1024	360	76	6	32	4
4	宮城	27	31	294	56	1113	8763	—	1876	7660	8815	334	575	100	758	899	2784	861	275	24	30	13
5	秋田	12	5	62	31	3078	3937	1876	—	1851	177	73	74	28	246	187	599	201	156	7	6	
6	山形	14	8	48	11	86	462	7660	1851	—	2276	131	241	84	339	327	959	461	1238	19	8	1
7	福島	16	23	73	14	121	466	8815	177	2276	—	6543	6956	443	1707	1468	3238	1295	1871	40	26	13
8	茨城	33	12	183	16	76	90	334	73	131	6543	—	25431	1543	13708	30776	12538	3417	273	45	35	36
9	栃木	29	10	80	8	61	161	575	74	241	6956	25431	—	17350	12309	5082	6959	3231	386	70	23	12
10	群馬	26	12	57	11	16	87	100	28	84	443	1543	17350	—	29719	3247	6717	2165	2153	202	49	26
11	埼玉	81	36	404	44	167	336	758	246	339	1707	13708	12309	29719	—	—	—	—	1897	139	112	51
12	千葉	96	63	689	75	200	292	899	187	327	1468	30776	5082	3247	—	—	—	—	897	178	170	83
13	東京	298	190	2099	202	718	1024	2784	599	959	3238	12538	6959	6717	—	—	—	—	3540	666	720	429
14	神奈川	156	95	769	105	282	360	861	201	461	1295	3417	3231	2165	—	—	—	—	1156	306	258	122
15	新潟	13	7	82	19	35	76	275	156	1238	1871	273	386	2153	1897	897	3540	1156	—	1443	367	87
16	富山	9	11	58	5	4	6	24	7	19	40	45	70	202	139	178	666	306	1443	—	8989	610
17	石川	17	5	62	5	8	32	30	6	8	26	35	23	49	112	170	720	258	367	8989	—	4974
18	福井	2	2	23	6	3	4	13		1	13	36	12	26	51	83	429	122	87	610	4974	—
19	山梨	7	10	66	5	4	23	46	11	16	33	247	240	286	1996	1468	10506	5670	74	57	29	4
20	長野	18	8	81	21	16	19	63	19	46	65	486	401	5566	3181	1896	6507	2858	4783	557	392	80
21	岐阜	19	13	73	10	15	11	30	24	11	15	60	39	73	185	290	990	389	97	2040	836	874
22	静岡	28	21	215	24	22	56	117	41	54	94	360	341	289	1970	2482	11804	19835	153	62	117	60
23	愛知	107	42	396	45	59	69	196	75	64	113	182	204	200	775	1445	5655	2517	212	539	940	1112
24	三重	16	6	83	9	20	17	31	10	28	31	73	97	74	203	205	901	457	45	91	141	209

OD交通の実態、特に、地域間の交通依存関係やその階層性等の構造的な特徴を簡単に把握することができない

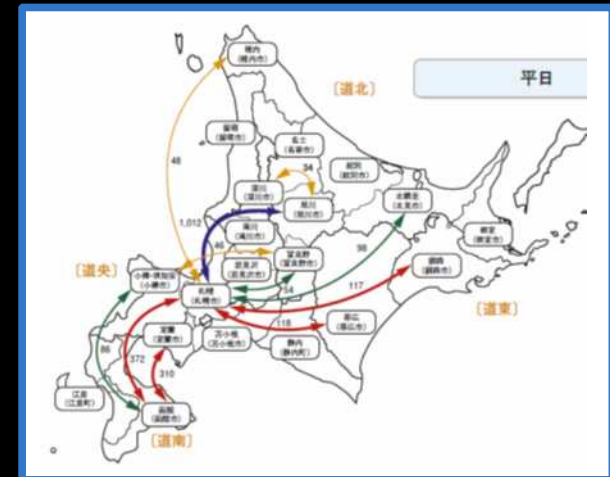
図やグラフによる視覚的表現



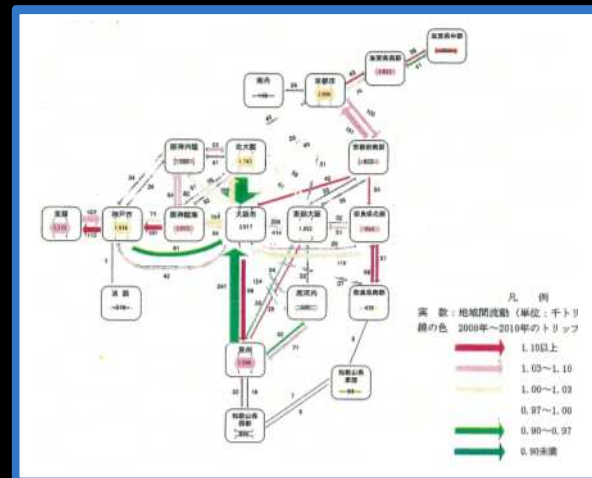
第5回東京都市圏パーソントリップ調査(2008)



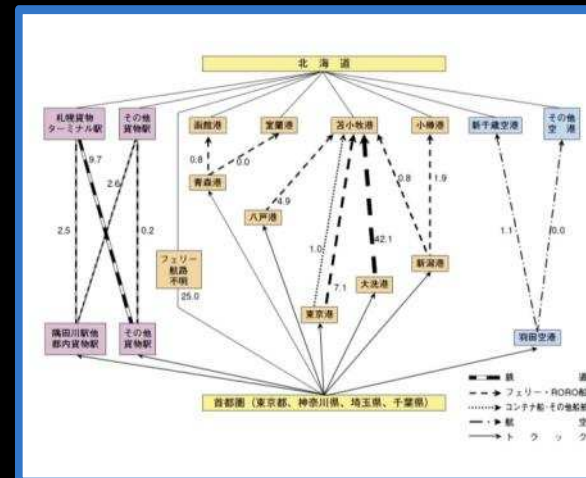
物流からみた東京都市圏の望ましい総合都市交通体系のあり方(2003~2004)



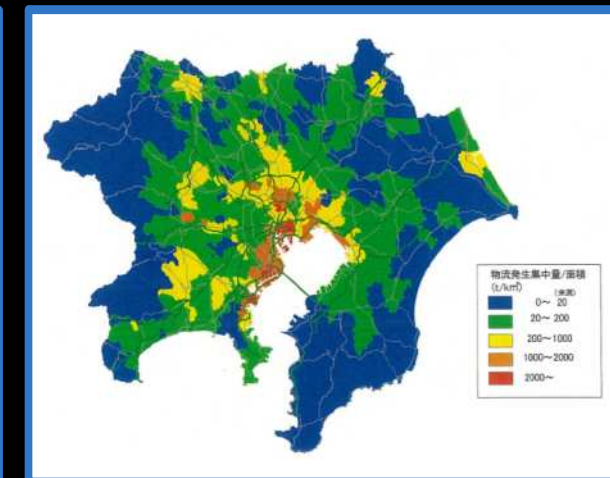
第4回全国幹線旅客純流動調査(2005)



第4回京阪神都市圏パーソントリップ調査(2010)

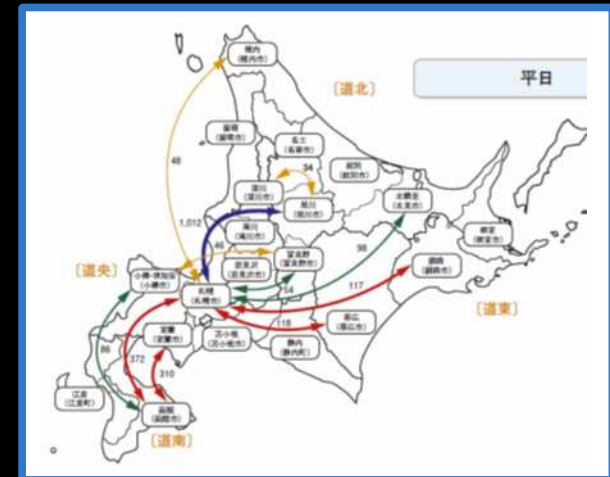
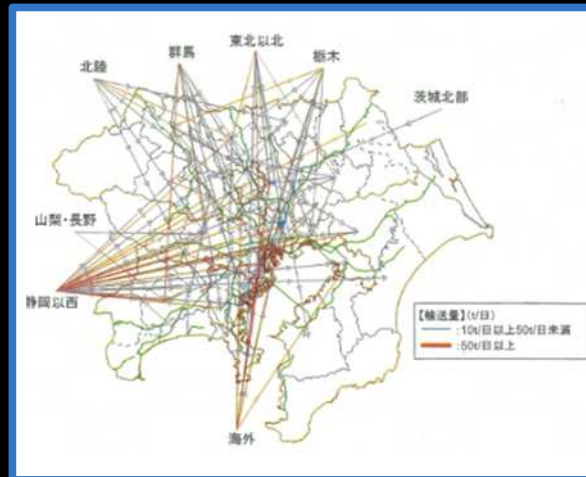
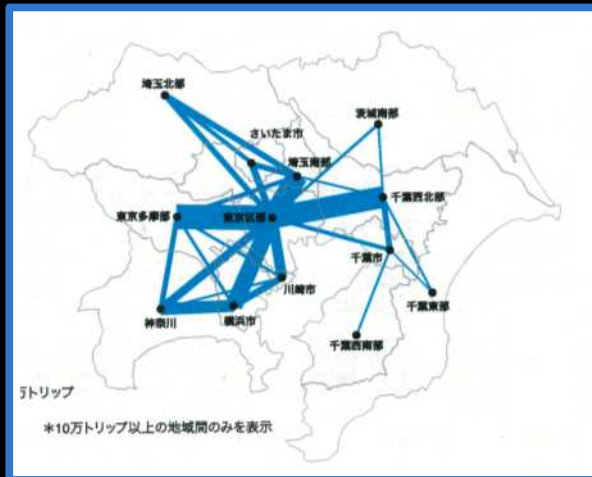


第8回物流センサス 全国貨物純流動調査(2005)



物流からみた東京都市圏の望ましい総合都市交通体系のあり方(2003~2004)

本研究での議論の対象

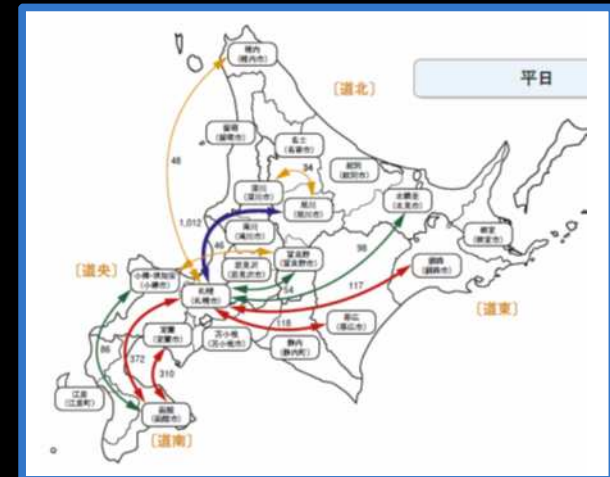
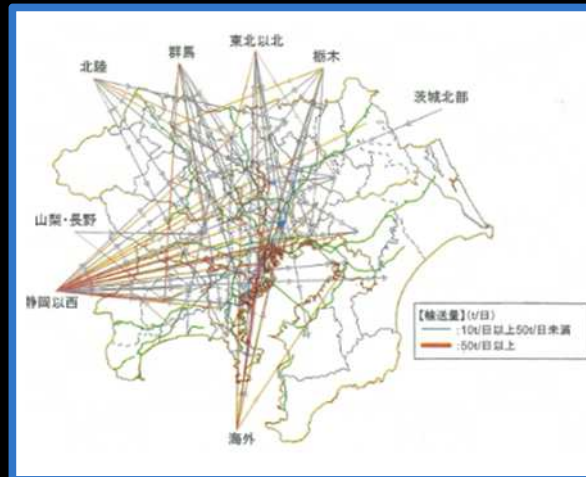
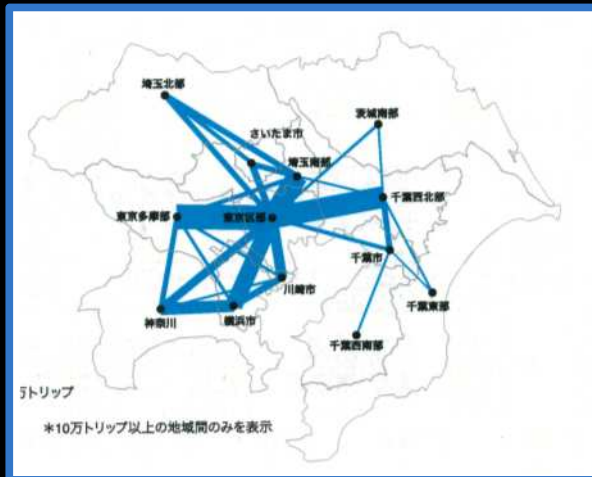


地理的空間上に

- OD交通を線分(直線/曲線)で、
- その方向を必要に応じて矢印で、
- 交通量は線分の太さや色で、表す方法

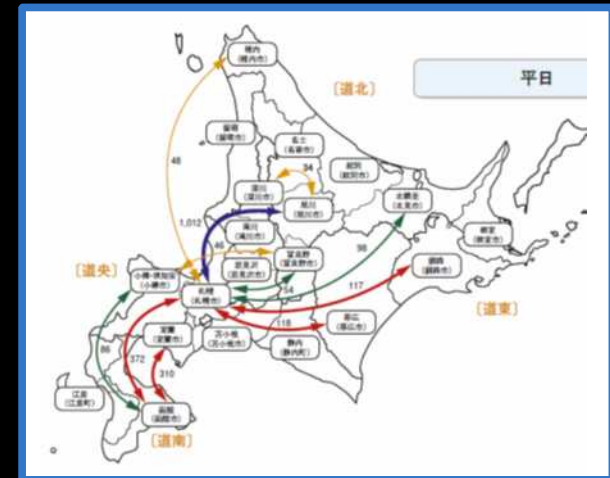
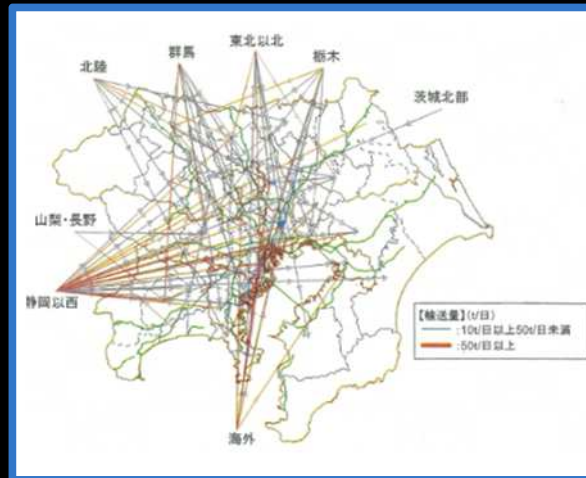
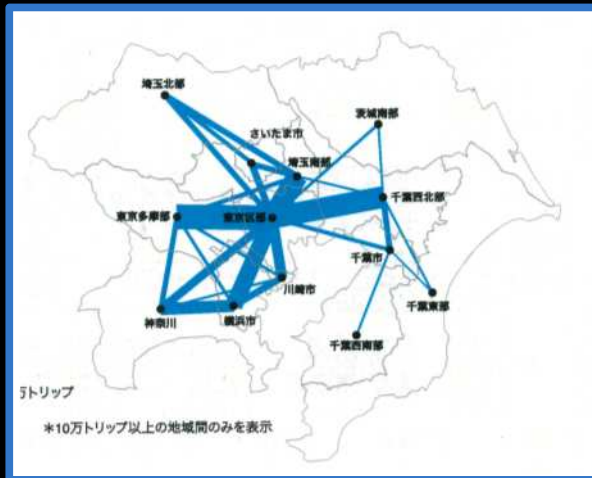
直感的にも分かりやすく、多用される方法

表現手法としての困難さ



データのすべてを表現しようとする
線分の数は一般に膨大となり
線分と線分の重なり・交差などで
情報の容易な読解は困難

一般的な利用のされ方



1. 表現の目的を限定する

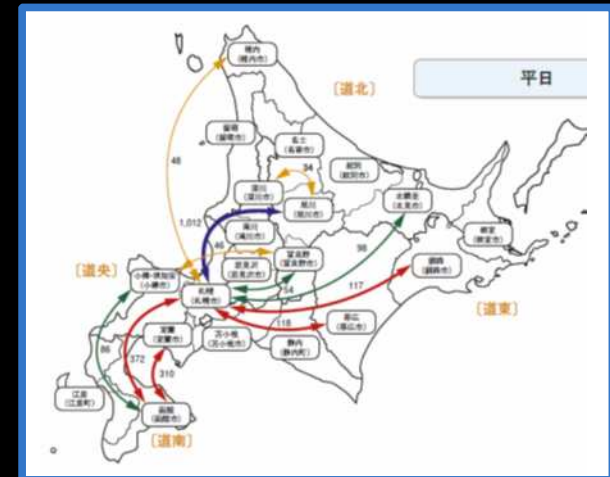
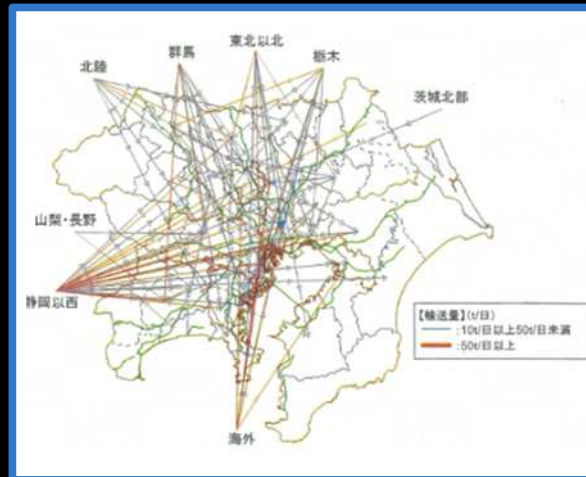
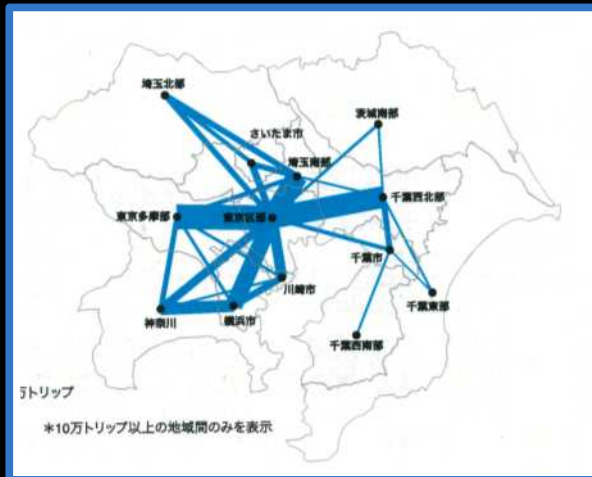
例) 中心都市への交通集中を表わしたい

2. 図に表す内容を絞り込む

例) 特定のOD間の交通量を図示する

3. 線分の種類、太さや色、配置を試行錯誤的に検討する

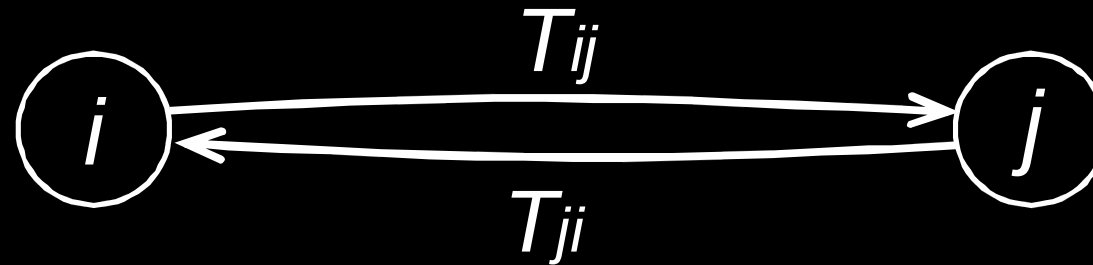
本研究の目的



すべてのOD交通量のデータを用いて
地域間の交通依存性やその階層性等の
構造的な特徴を客観的な基準によって抽出し
地理的空間上に分かりやすく表現する手法を開発

OD交通量 (T_{ij}) のグラフ表現と関連研究分野

完全有向グラフ

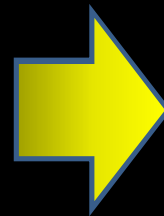


完全無向グラフ



■ 関連する研究分野

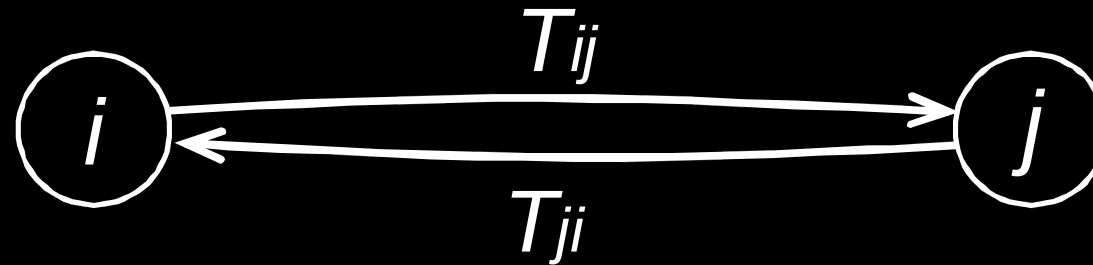
- グラフ理論
- ネットワーク理論
- 統計分析 ...



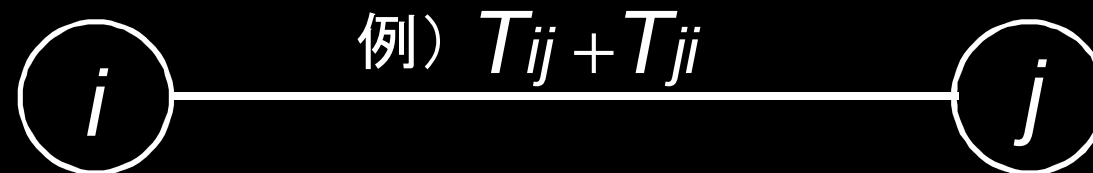
- グラフの自動描画問題
- ネットワークの可視化
- 地域の結節構造分析
- カルトグラム作成問題 ...

OD交通量 (T_{ij}) のグラフ表現と関連研究分野

完全有向グラフ



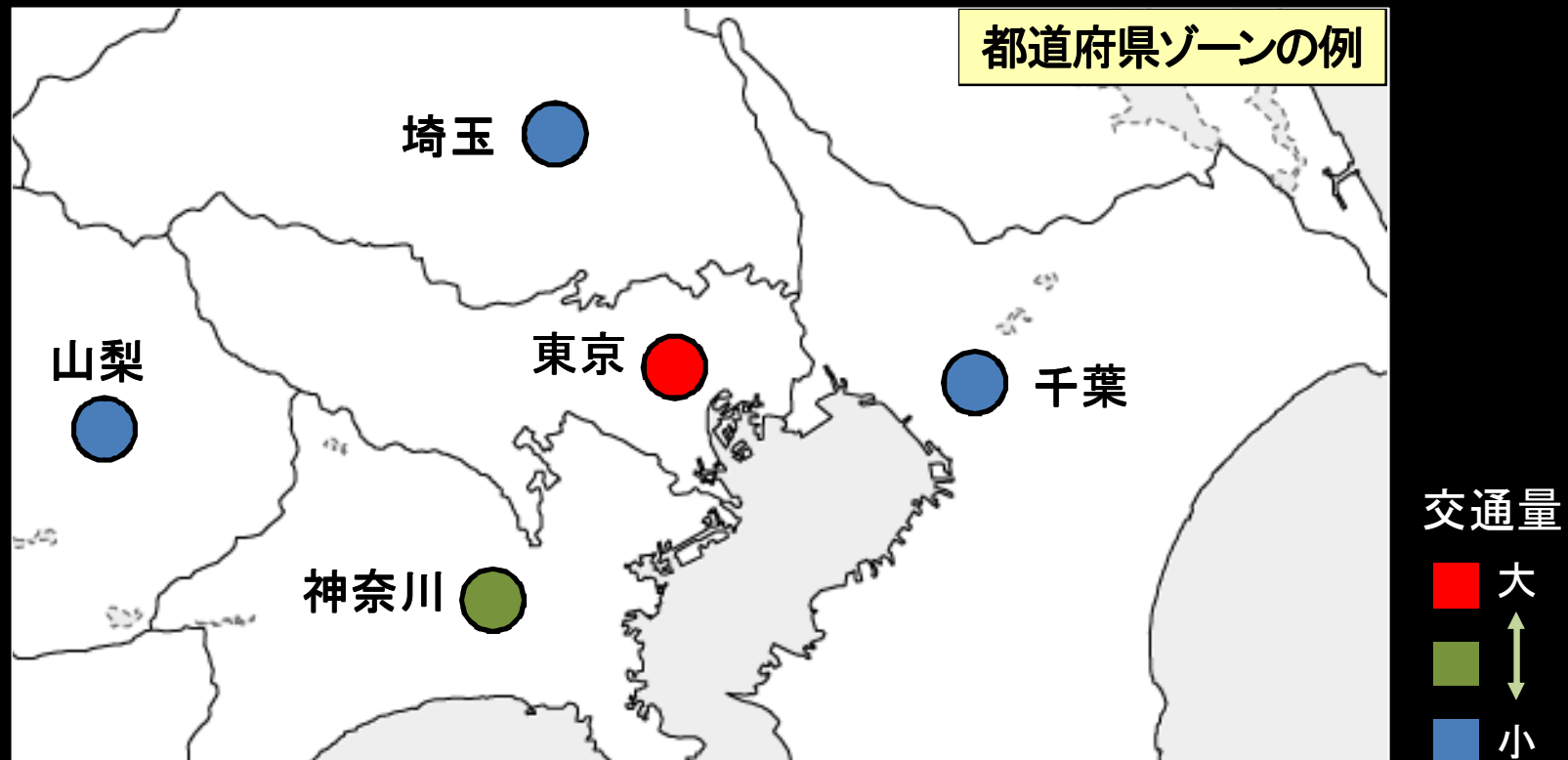
完全無向グラフ



参考となる知見は数多いが、OD交通量を地理的空間上に表現するという視点からの既存研究はほとんどない

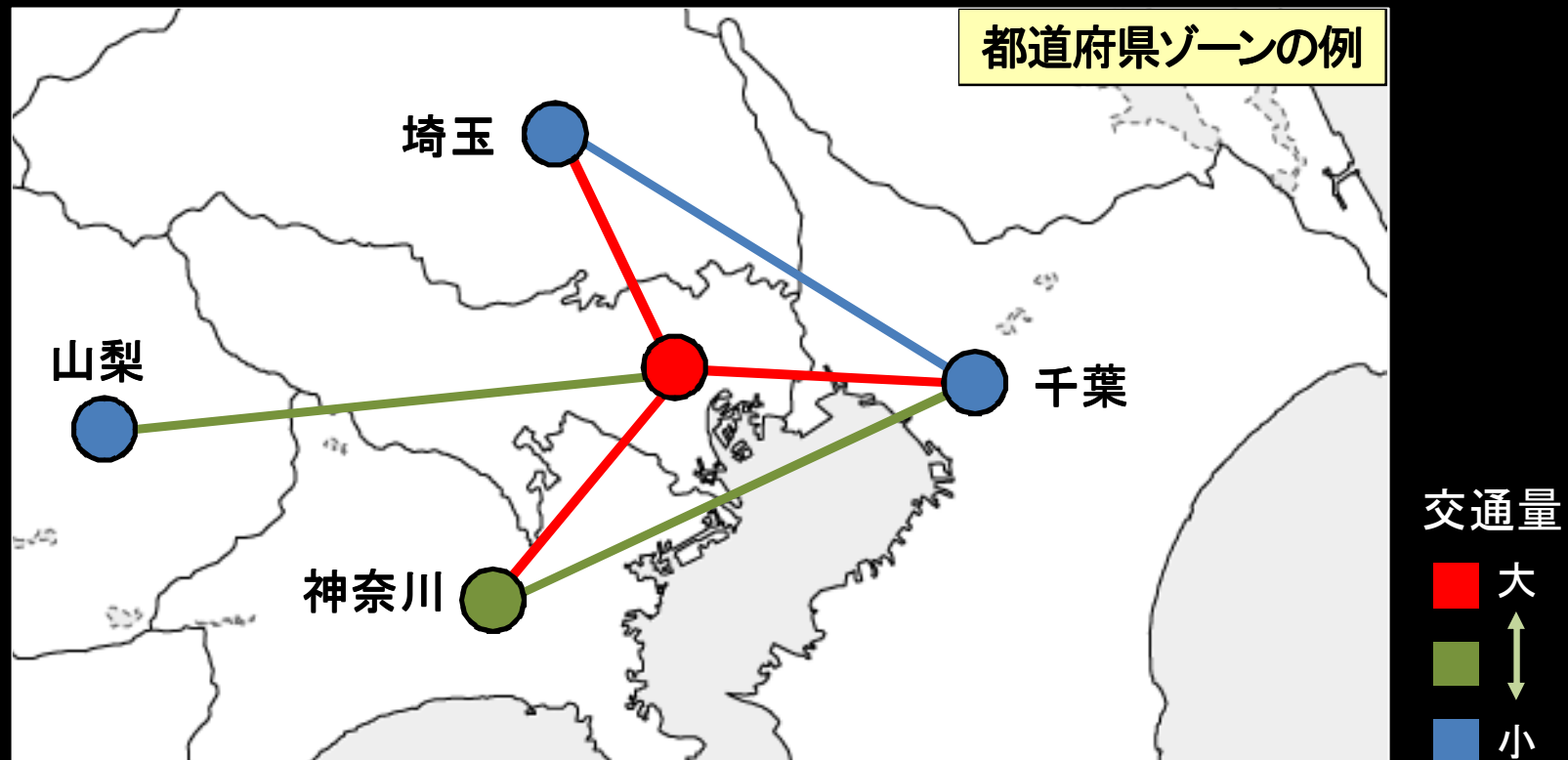
手法構築の前提

1. 地域(ゾーン)は点で代表させる
2. 点の配置は、ゾーンの地理的位置関係に整合させる
3. 内々交通量の表現が必要な場合は、点の色で表現する



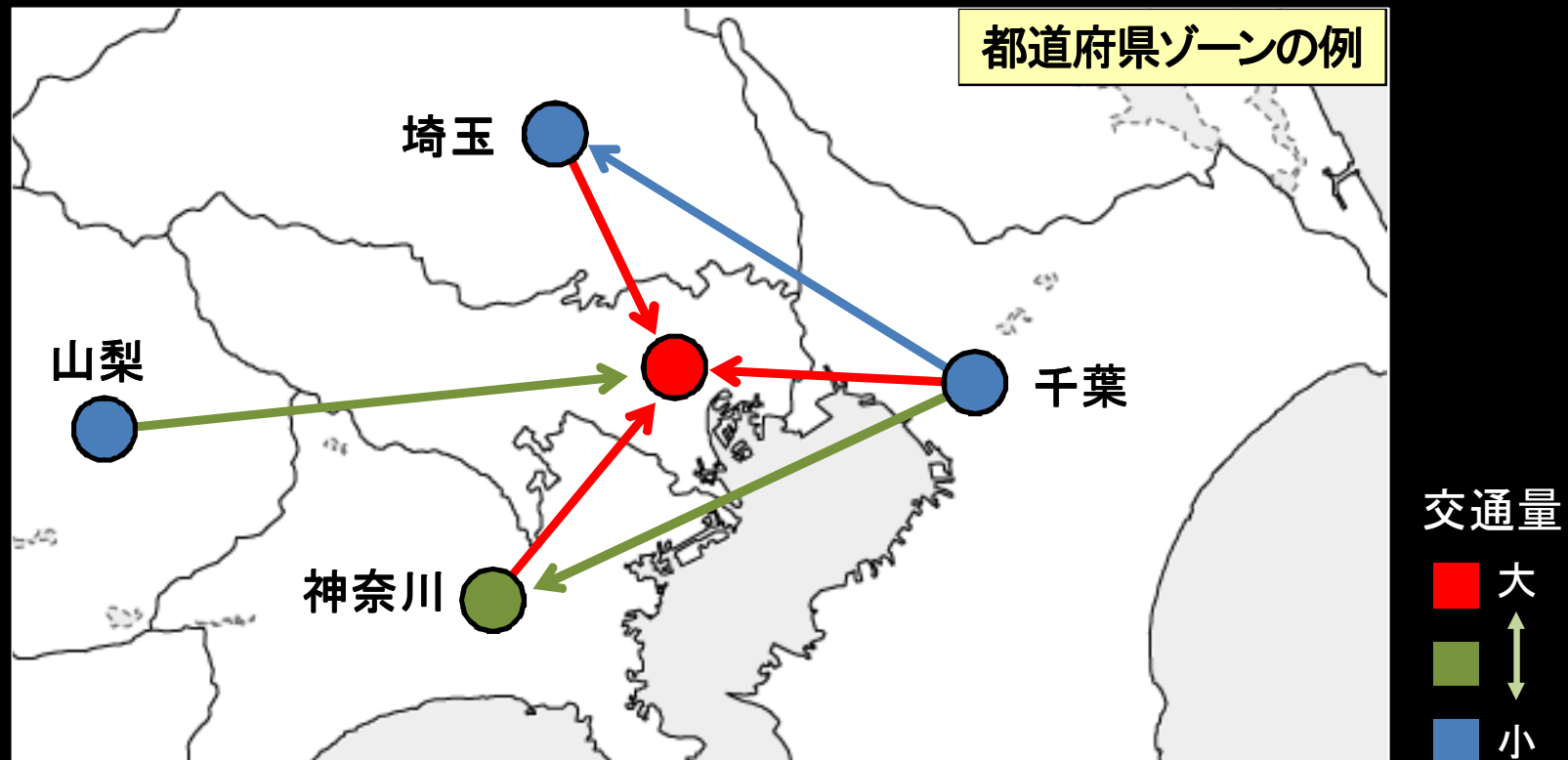
手法構築の前提

- 4. OD交通は、点間のたかだか1本の直線分で表現する
- 5. 交通量は線分の色で表現する



手法構築の前提

4. OD交通は、点間のたかだか1本の直線分で表現する
5. 交通量は線分の色で表現する
6. 必要に応じ、交通の向きを事後的に矢印で表現する。

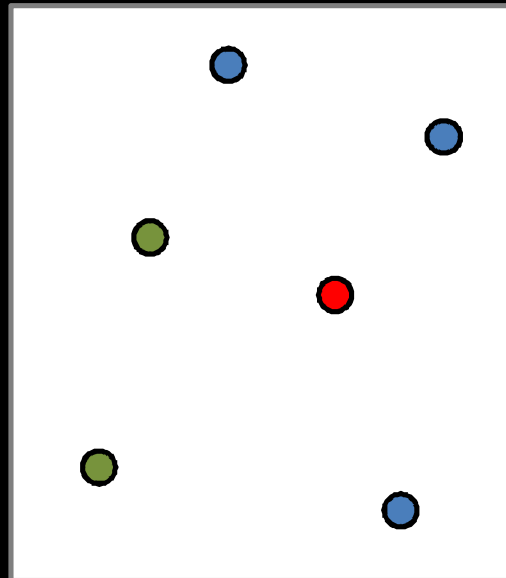


具体的な研究課題(1)

少ない線分で、地域間の依存性や階層性等の
構造的な特徴を要領よく表現する

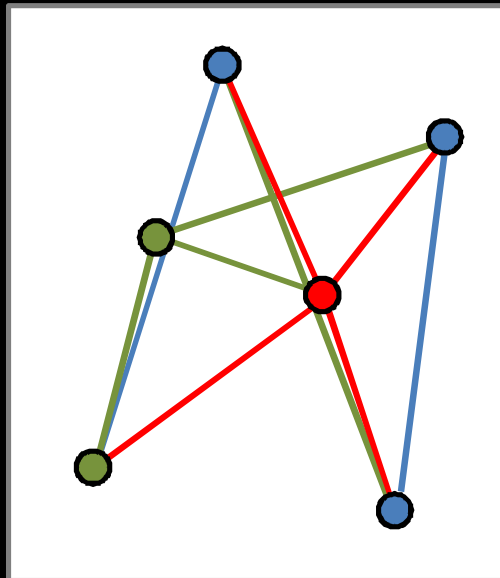
⇒ グラフ決定問題

空グラフ



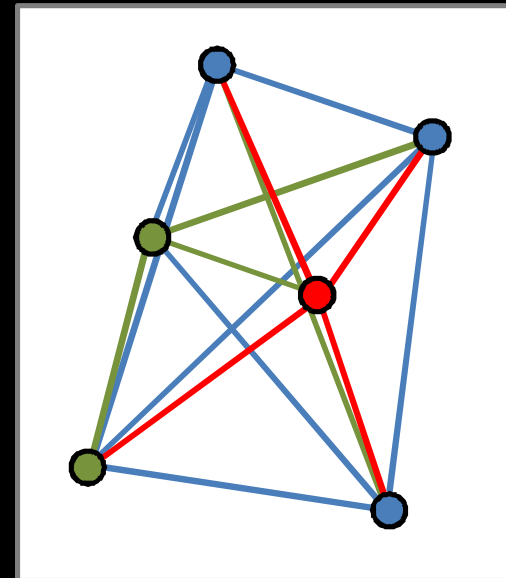
例) 6地域の場合

?



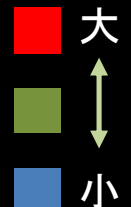
線分数: ?

完全グラフ



線分数: 15

交通量

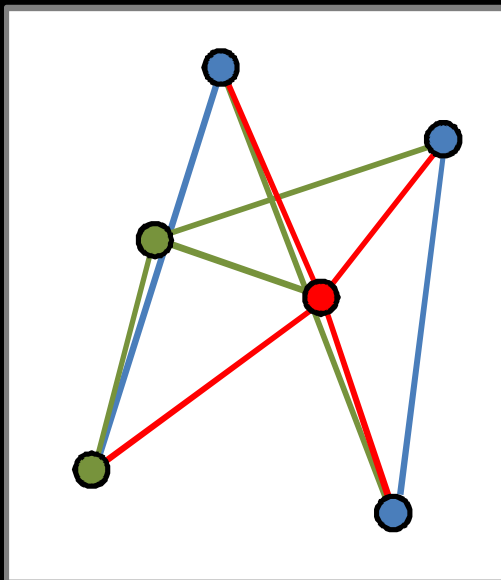


具体的な研究課題(2)

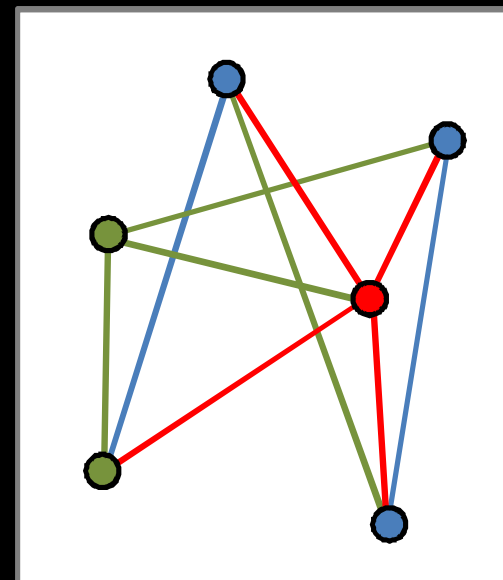
地理的位置関係とできるだけ整合させながら
点・線分接近問題を解消し、分かりやすく表現する

⇒ グラフ配置問題

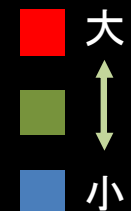
点の初期配置



グラフ配置



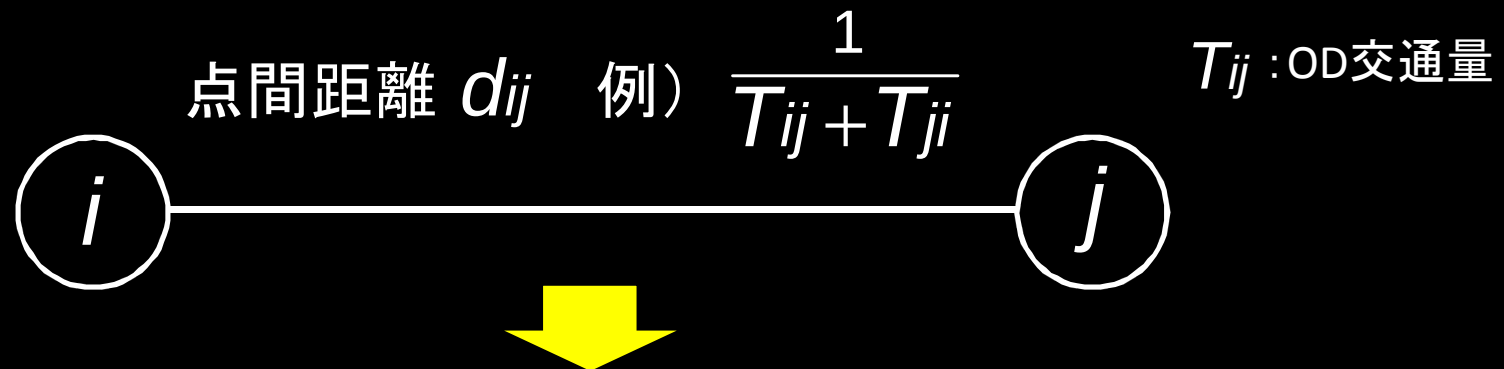
交通量



グラフ決定問題: 近傍グラフの応用

近傍グラフ

距離空間上の点集合に対し、
点間距離に基づき近傍関係を定義し、
近傍と判定された辺を結んだグラフ



OD交通量の観点から、地域間のつながりや階層性を表現

近傍グラフ

距離空間上の点集合に対し、
点間距離に基づき近傍関係を定義し、
近傍と判定された辺を結んだグラフ



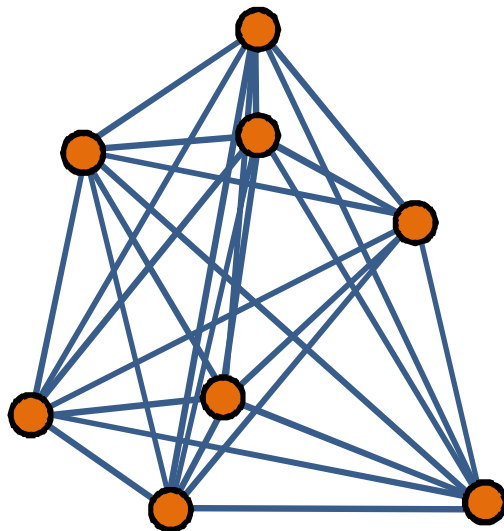
交通量から定義される距離は、距離の公理を満足せず

近傍グラフの理論のすべてを
そのまま利用できるわけではない

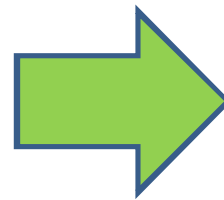
代表的な近傍グラフ: 最小全域木

点間距離の総和が最小となる
全域木(ループのない全点連結グラフ)

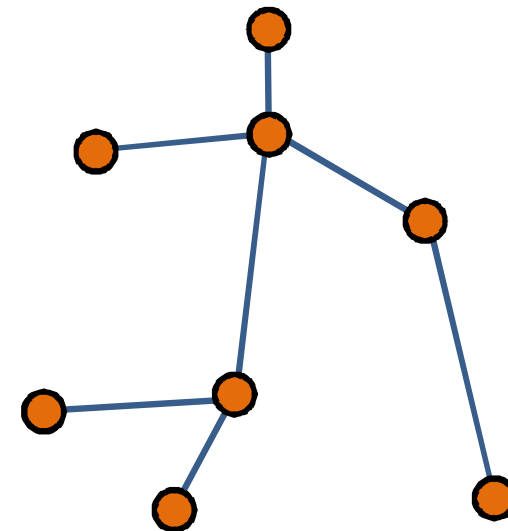
完全グラフ(辺数: 28)



点数: 8の場合



最小全域木(辺数: 7)



OD交通量の観点から、地域間のつながりや階層性を表現

全域木(ループのない全点連結グラフ)

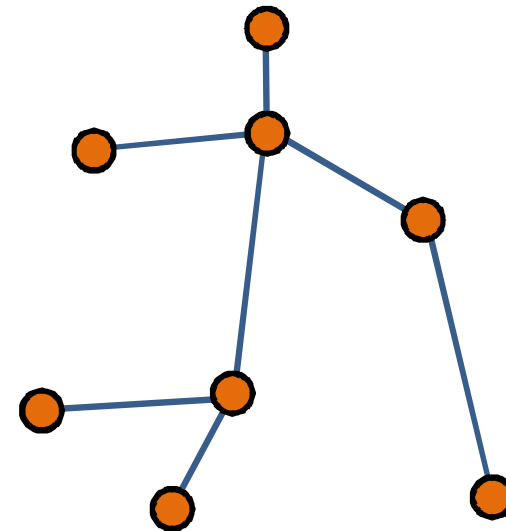
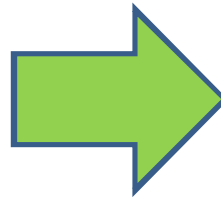
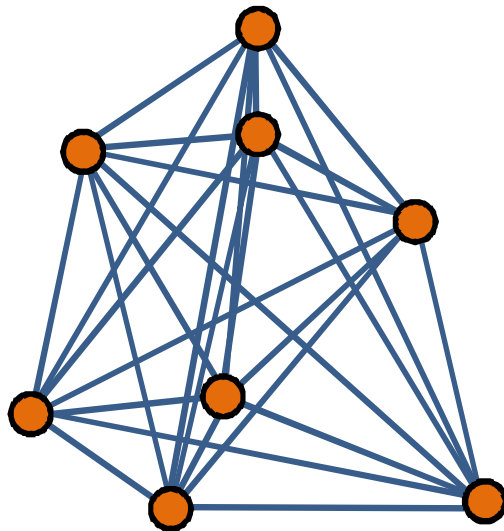


意味のある地域間のつながりが無視されてしまう可能性

完全グラフ(辺数: 28)

点数: 8の場合

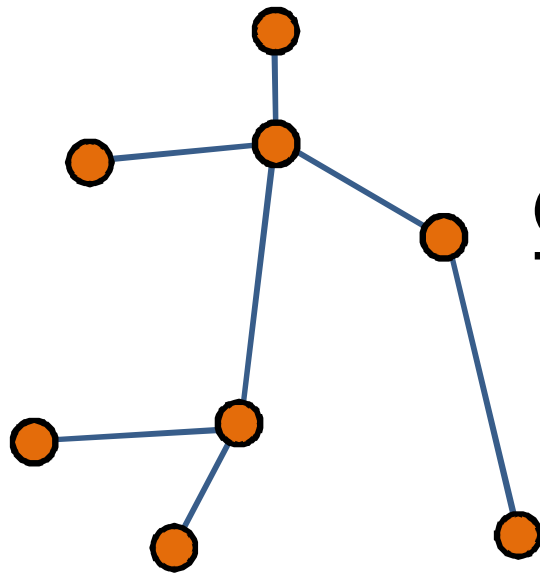
最小全域木(辺数: 7)



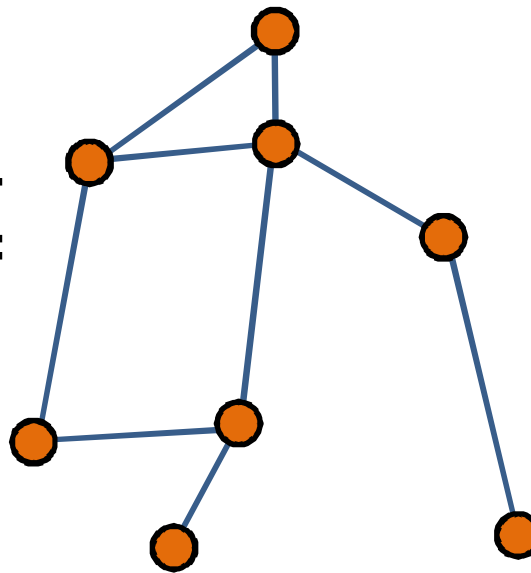
OD交通量の観点から、地域間のつながりや階層性を表現

最小全域木の拡張

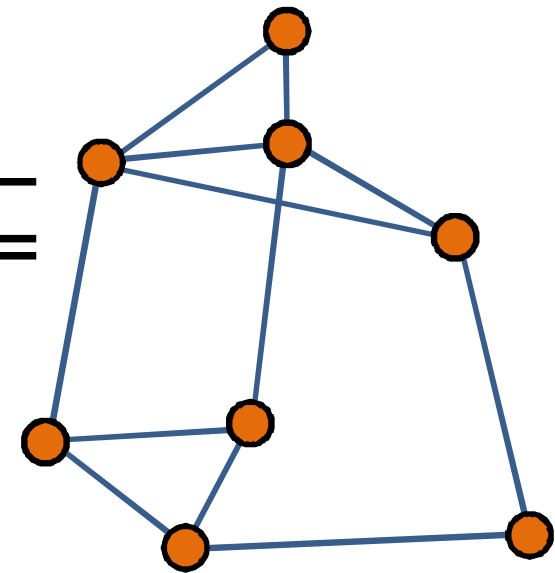
最小全域木

 $\subseteq$

他の近傍グラフ1

 $\subseteq$

他の近傍グラフ2



点間距離の総和最小
全域木

?

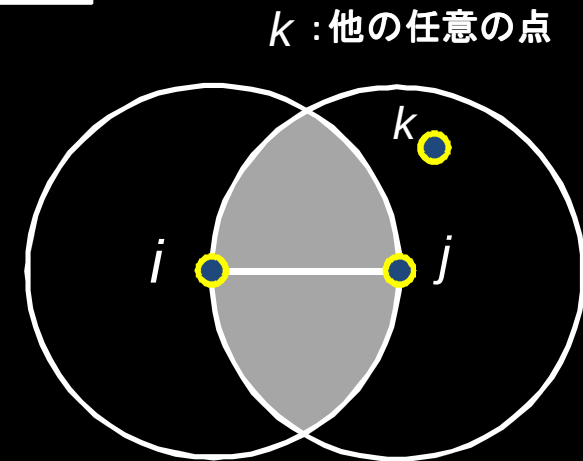
?

相対近傍グラフとガブリエルグラフ

ユークリッド空間での定義

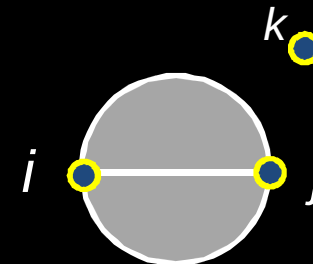
■ 相対近傍グラフの (i, j) 接続条件

$$d_{ij} \leq \max(d_{ik}, d_{jk})$$



■ ガブリエルグラフの (i, j) 接続条件

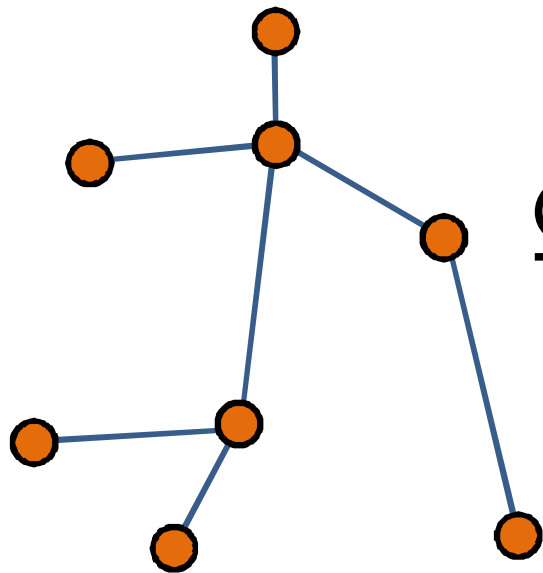
$$d_{ij} \leq \sqrt{d_{ik}^2 + d_{jk}^2}$$



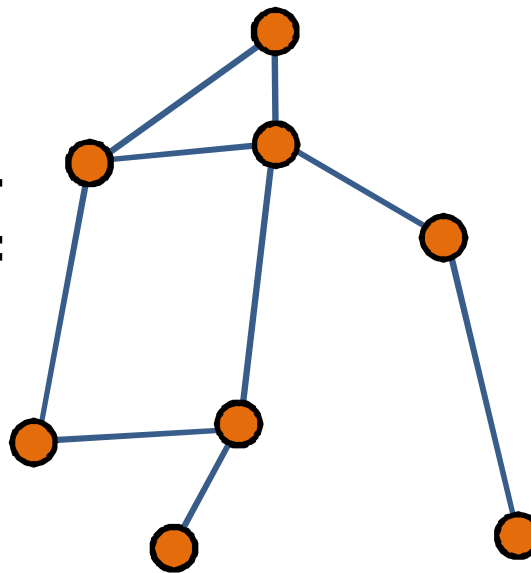
最小全域木 $\subseteq$ 相対近傍グラフ $\subseteq$ ガブリエルグラフ

最小全域木の拡張

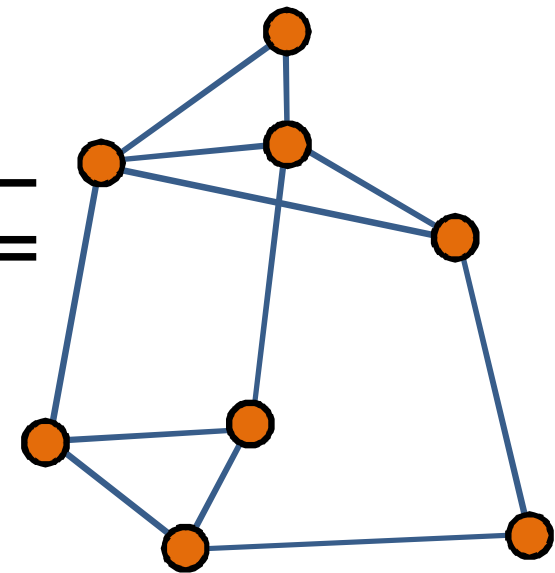
最小全域木



相対近傍グラフ



ガブリエルグラフ



点間距離の総和最小
全域木

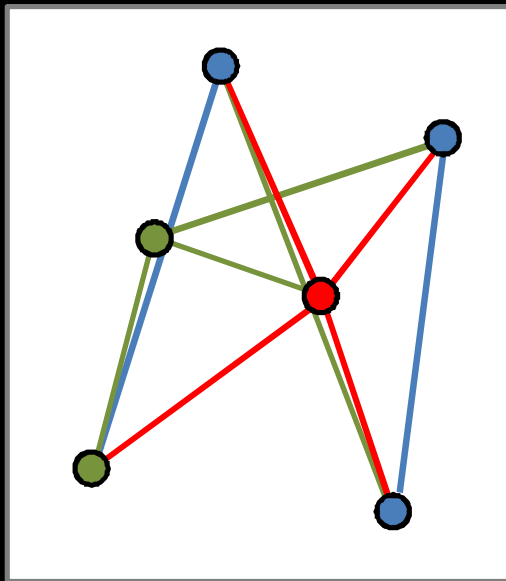
$$d_{ij} \leq \max(d_{ik}, d_{jk})$$

$$d_{ij} \leq \sqrt{d_{ik}^2 + d_{jk}^2}$$

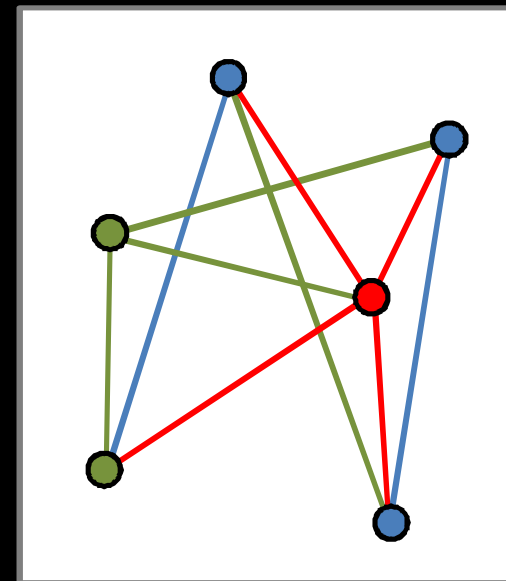
グラフ配置問題: 目的(再掲)

地理的位置関係とできるだけ整合させながら
点・線分接近問題を解消し、分かりやすく表現する

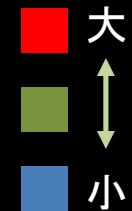
点の初期配置



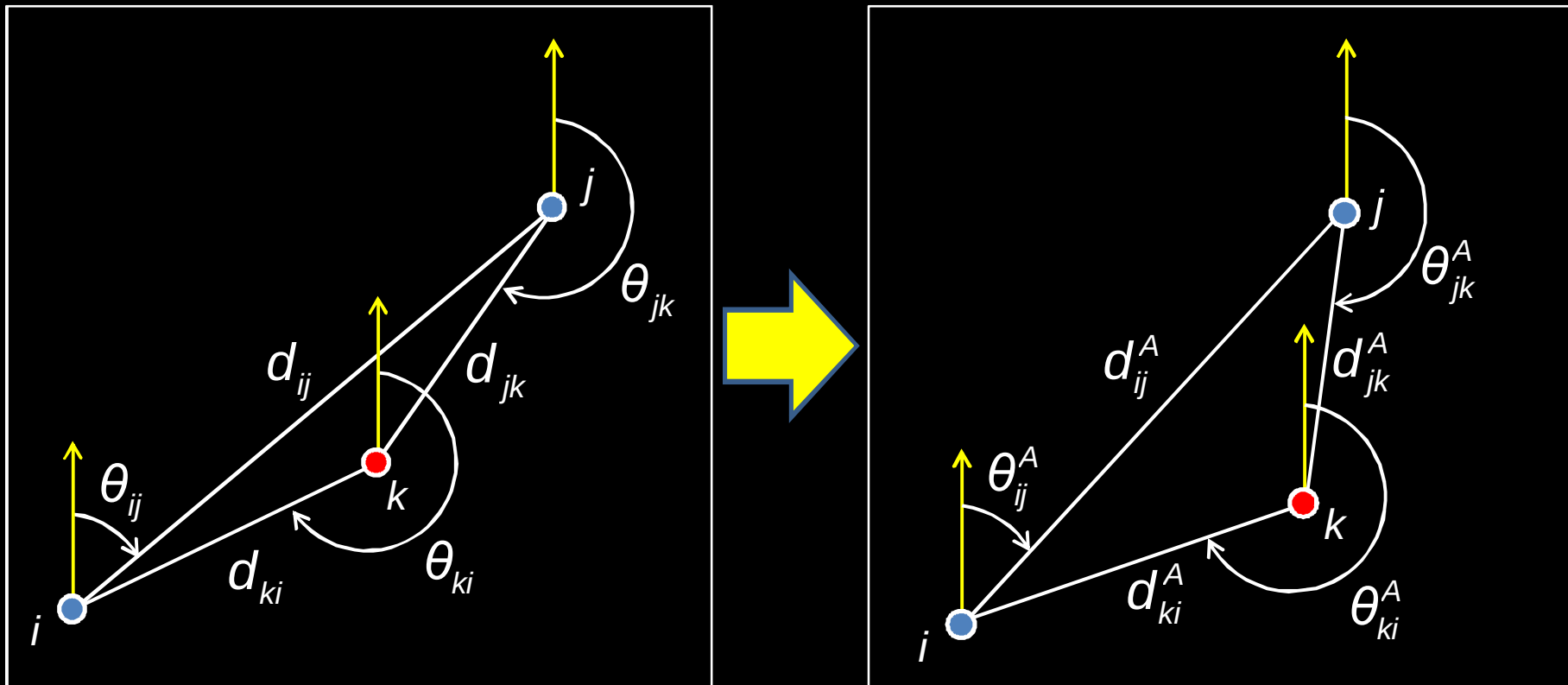
グラフ配置



交通量

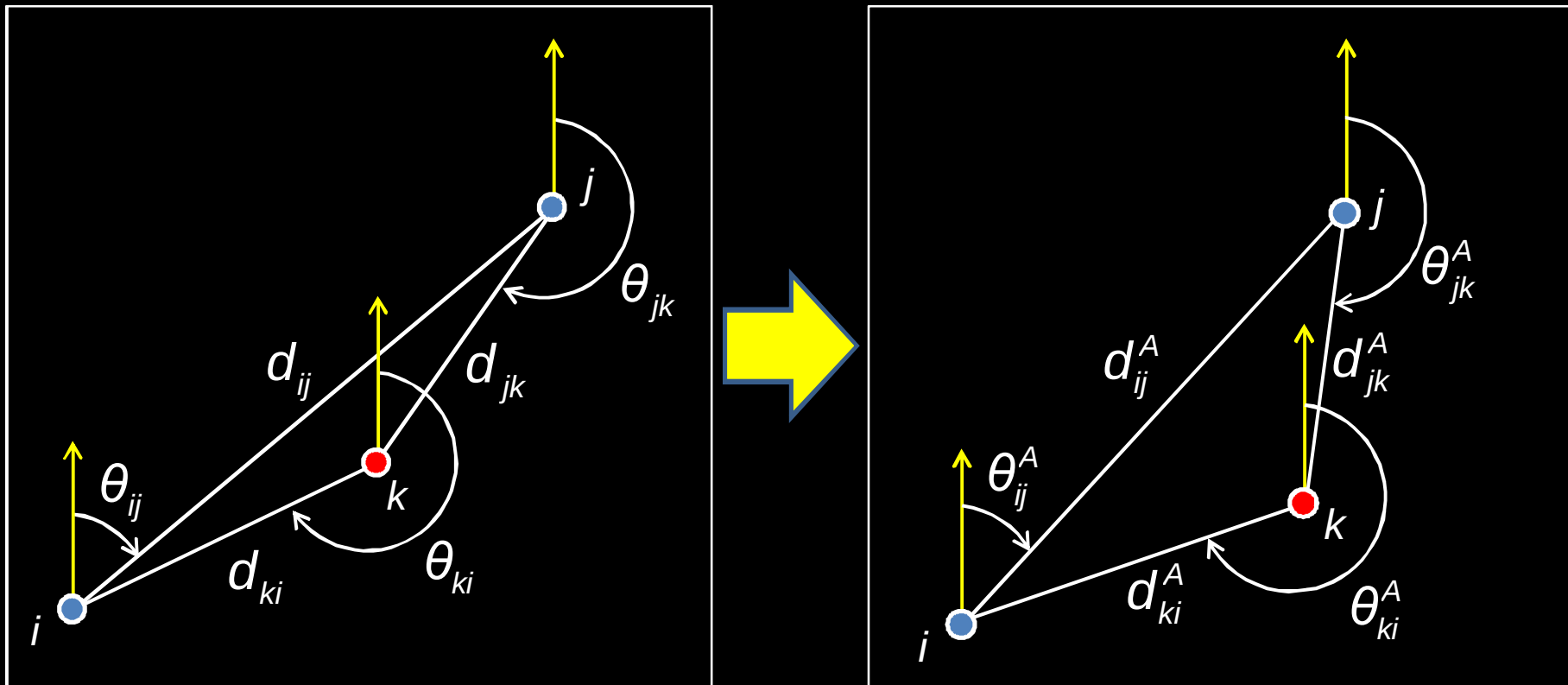


グラフ配置問題: 点間距離・方位角を修正する問題



局所的な問題: 適当なルールで解消可能

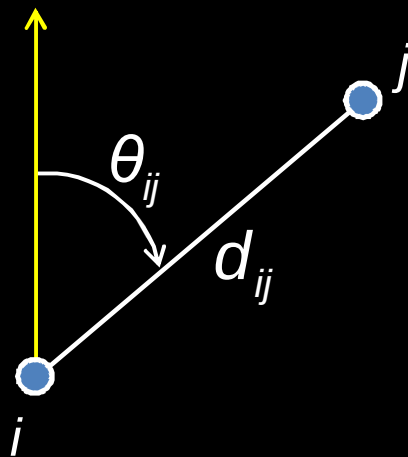
グラフ配置問題: 点間距離・方位角を修正する問題



局所的な問題解消が、**全体の点配置に悪影響**
を及ぼす可能性がある（新たな**接近・交差問題**など）

カルトグラム作成手法の応用

所与の点間距離、点間方位角を可能な限り再現する
地理空間上の配置(点座標)を求める



地理空間上の距離

地理空間上の方位角

所与の点間距離

所与の点間方位角

$$\min. \left[\sum_{i,j \in L} (d_{ij}^A - d_{ij}^G)^2 + \mu \sum_{i,j \in L} (\theta_{ij}^A - \theta_{ij}^G)^2 \right]$$

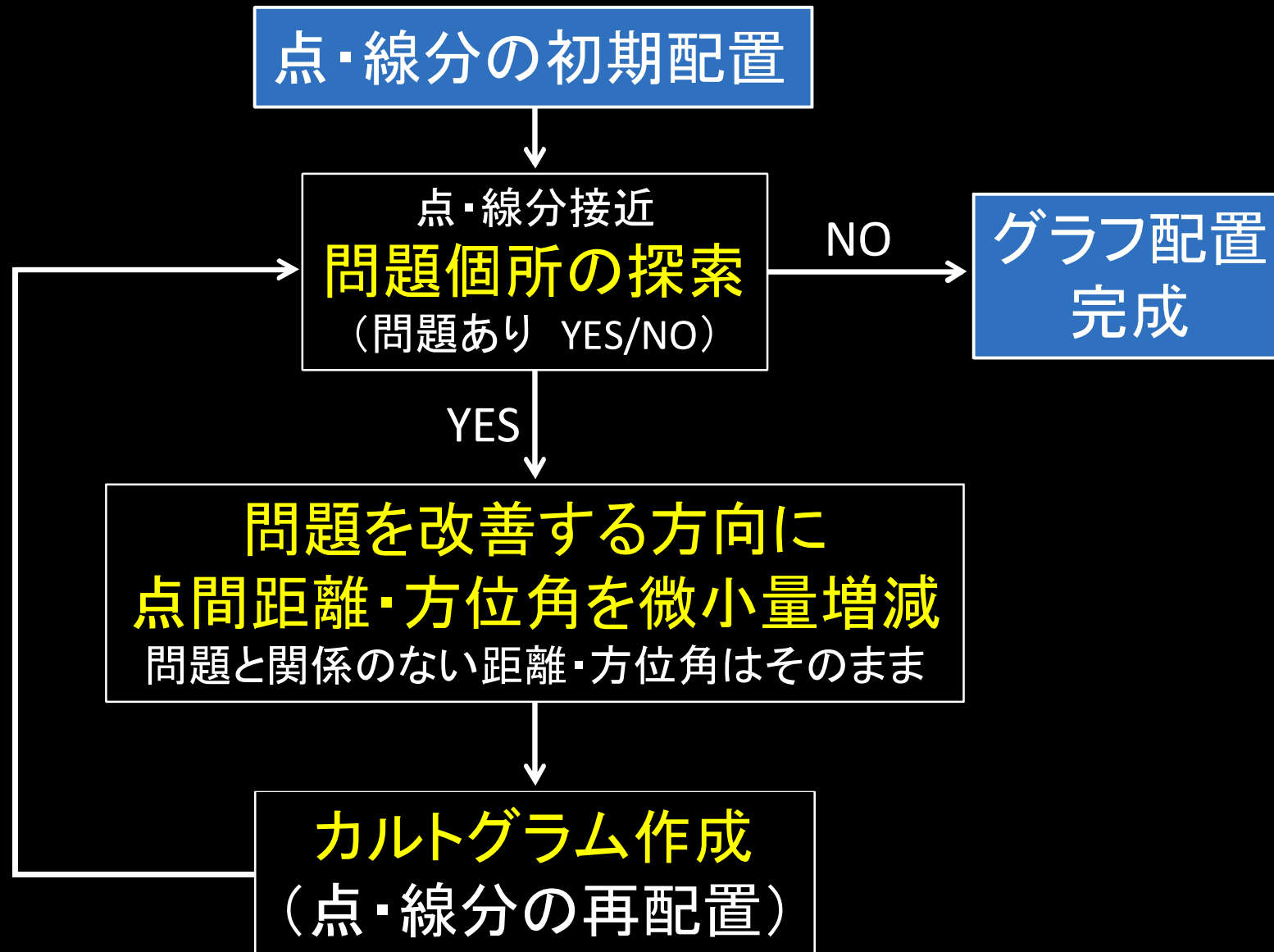
点座標

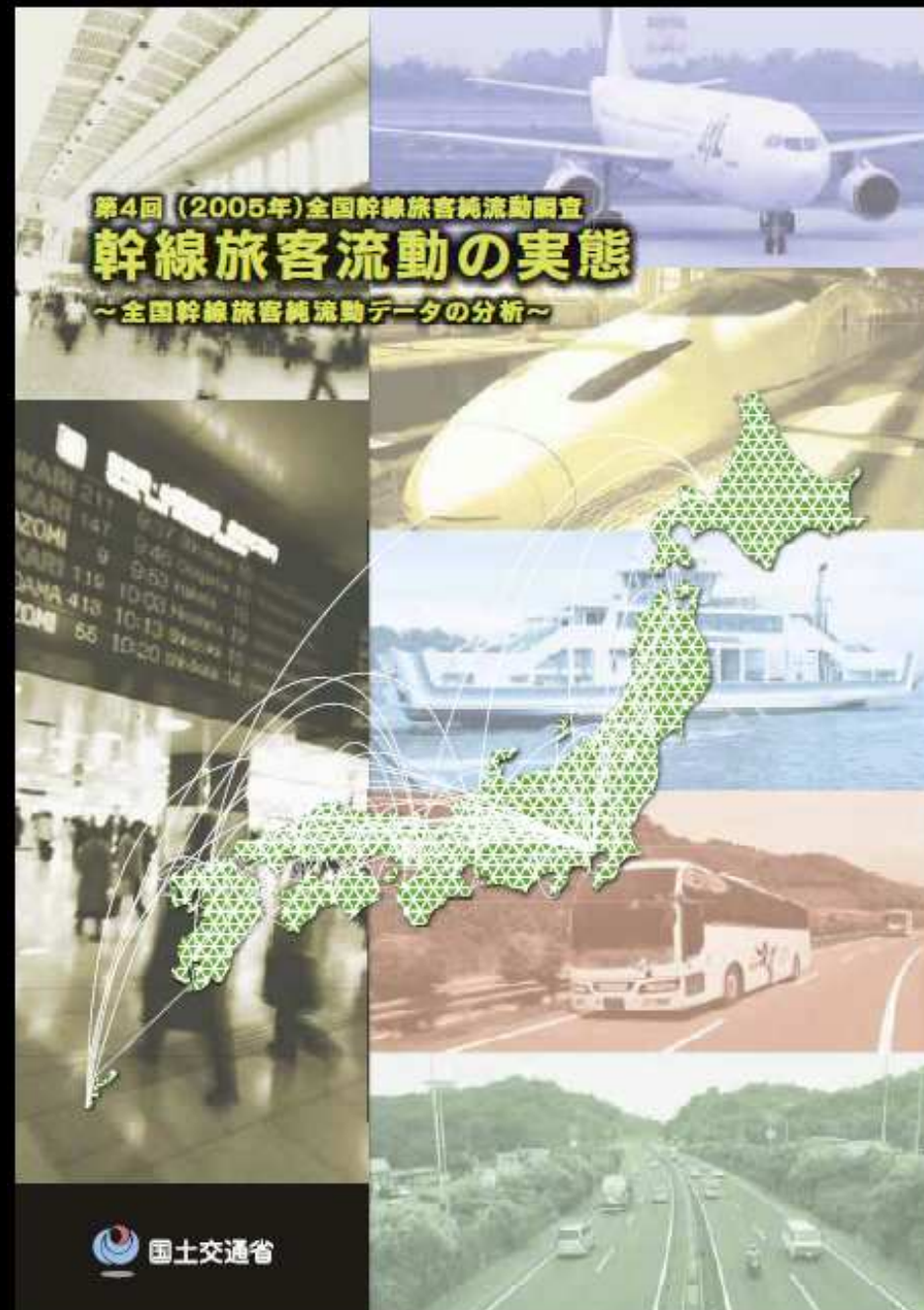
(x_i, y_i)

$$d_{ij}^G = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$$

$$\theta_{ij}^G = \tan^{-1} \frac{x_j - x_i}{y_j - y_i}$$

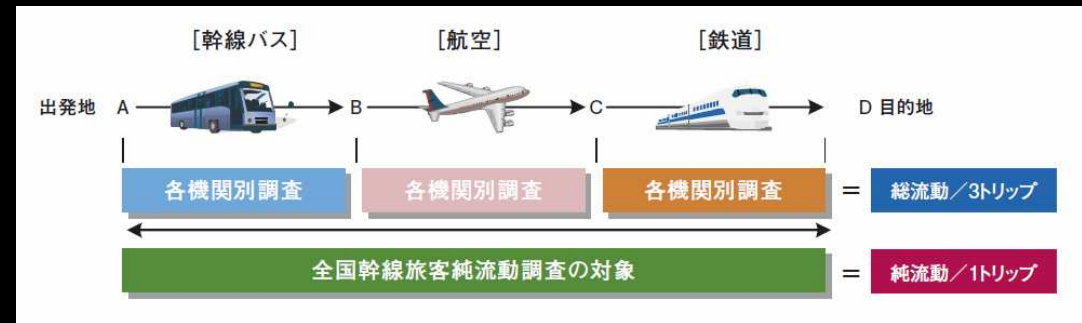
参考文献) 清水英範, 井上亮: 時間地図作成問題の汎用解法, 土木学会論文集, IV-64, No.765, pp.105-114, 2004.





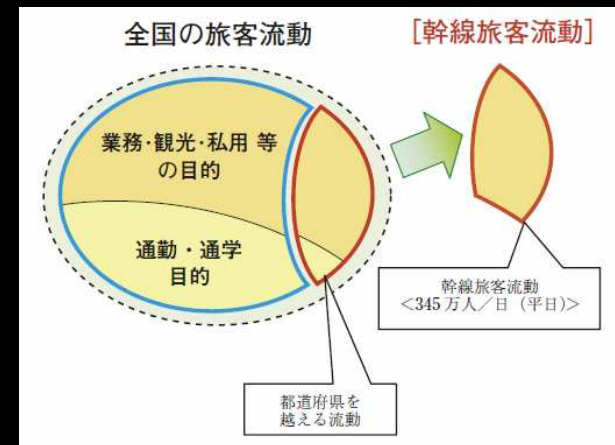
全国幹線旅客純流動調査(2005) 都道府県間流動表

■ 乗り継ぎ状況によらず、実際の出発地から目的地までの流動



■ 都道府県を超える流動で、かつ通勤・通学目的を除く流動

旅行目的
 ・仕事
 ・観光
 ・私用、帰省
 ・その他



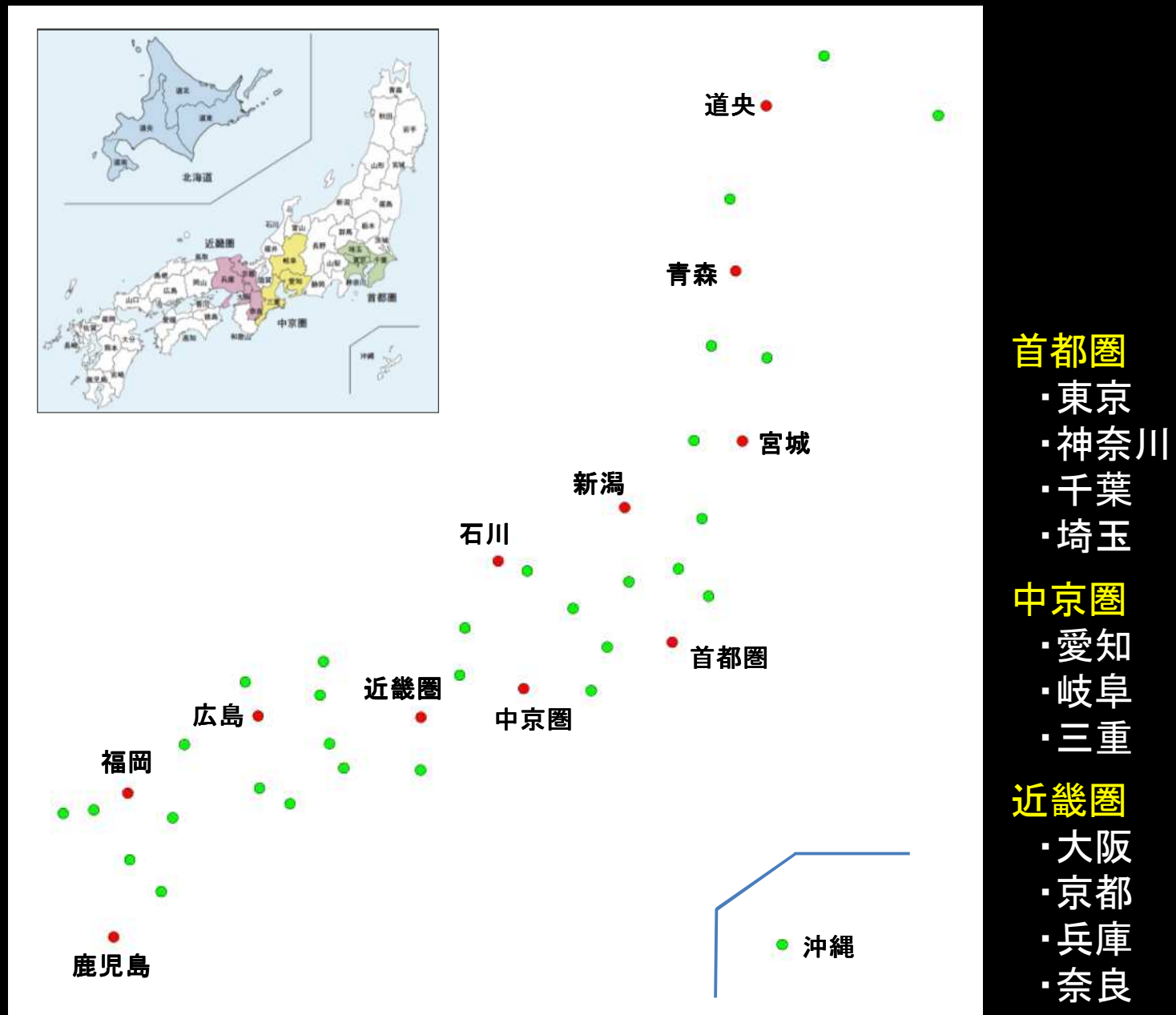
図出典) 国土交通省: 第4回(2005年)全国幹線旅客純流動調査 幹線旅客流動の実態

都道府県間流動表 年間OD表(全機関・全目的)

(単位:千人/年)																						
出 発 地	目 的 地	1	48	49	50	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		道 北	道 東	道 央	道 南	青 森	岩 手	宮 城	秋 田	山 形	福 島	茨 城	栃 木	群 馬	埼 玉	千 葉	東 京	神 奈 川	新 潟	富 山	石 川	福 井
1	道 北	—	3758	13107	155	29	6	27	12	14	16	33	29	26	81	96	298	156	13	9	17	2
48	道 東	3758	—	3402	121	9	10	31	5	8	23	12	10	12	36	63	190	95	7	11	5	2
49	道 央	13107	3402	—	3863	161	74	294	62	48	73	183	80	57	404	689	2099	769	82	58	62	23
50	道 南	155	121	3863	—	364	26	56	31	11	14	16	8	11	44	75	202	105	19	5	5	6
2	青 森	29	9	161	364	—	6126	1113	3078	86	121	76	61	16	167	200	718	282	35	4	8	3
3	岩 手	6	10	74	26	6126	—	8763	3937	462	466	90	161	87	336	292	1024	360	76	6	32	4
4	宮 城	27	31	294	56	1113	8763	—	1876	7660	8815	334	575	100	758	899	2784	861	275	24	30	13
5	秋 田	12	5	62	31	3078	3937	1876	—	1851	177	73	74	28	246	187	599	201	156	7	6	
6	山 形	14	8	48	11	86	462	7660	1851	—	2276	131	241	84	339	327	959	461	1238	19	8	1
7	福 島	16	23	73	14	121	466	8815	177	2276	—	6543	6956	443	1707	1468	3238	1295	1871	40	26	13
8	茨 城	33	12	183	16	76	90	334	73	131	6543	—	25431	1543	13708	30776	12538	3417	273	45	35	36
9	栃 木	29	10	80	8	61	161	575	74	241	6956	25431	—	17350	12309	5082	6959	3231	386	70	23	12
10	群 馬	26	12	57	11	16	87	100	28	84	443	1543	17350	—	29719	3247	6717	2165	2153	202	49	26
11	埼 玉	81	36	404	44	167	336	758	246	339	1707	13708	12309	29719	—	—	—	—	1897	139	112	51
12	千 葉	96	63	689	75	200	292	899	187	327	1468	30776	5082	3247	—	—	—	—	897	178	170	83
13	東 京	298	190	2099	202	718	1024	2784	599	959	3238	12538	6959	6717	—	—	—	—	3540	666	720	429
14	神 奈 川	156	95	769	105	282	360	861	201	461	1295	3417	3231	2165	—	—	—	—	1156	306	258	122
15	新 潟	13	7	82	19	35	76	275	156	1238	1871	273	386	2153	1897	897	3540	1156	—	1443	367	87
16	富 山	9	11	58	5	4	6	24	7	19	40	45	70	202	139	178	666	306	1443	—	8989	610
17	石 川	17	5	62	5	8	32	30	6	8	26	35	23	49	112	170	720	258	367	8989	—	4974
18	福 井	2	2	23	6	3	4	13		1	13	36	12	26	51	83	429	122	87	610	4974	—
19	山 梨	7	10	66	5	4	23	46	11	16	33	247	240	286	1996	1468	10506	5670	74	57	29	4
20	長 野	18	8	81	21	16	19	63	19	46	65	486	401	5566	3181	1896	6507	2858	4783	557	392	80
21	岐 阜	19	13	73	10	15	11	30	24	11	15	60	39	73	185	290	990	389	97	2040	836	874
22	静 岡	28	21	215	24	22	56	117	41	54	94	360	341	289	1970	2482	11804	19835	153	62	117	60
23	愛 知	107	42	396	45	59	69	196	75	64	113	182	204	200	775	1445	5655	2517	212	539	940	1112
24	三 重	16	6	83	9	20	17	31	10	28	31	73	97	74	203	205	901	457	45	91	141	209
25	滋 賀	9	7	51	13	14	8	24	9	7	22	41	24	20	98	217	629	319	50	144	300	2799
26	京 都	53	23	156	24	36	26	95	21	30	53	131	89	81	368	620	2392	1075	106	348	588	3087
27	大 阪	104	74	512	50	84	60	226	66	65	126	232	183	134	1280	1268	6046	1930	191	663	726	1268

集計ゾーン
(全42ゾーン)

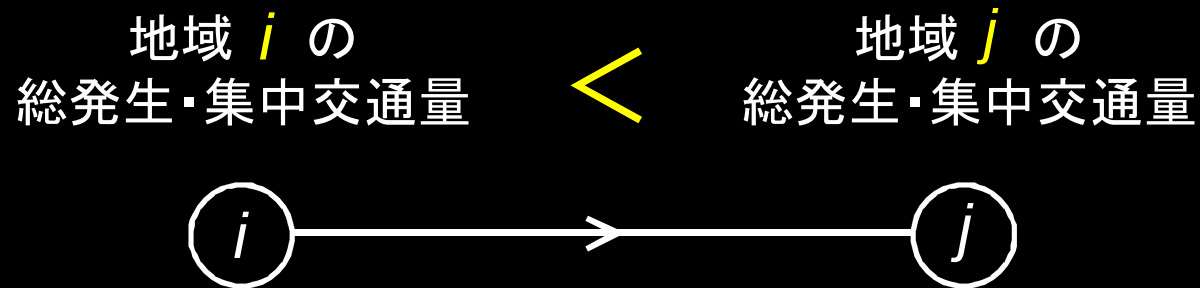




グラフの作成・作図にあたって

■ 点 i, j 間距離の定義: $\frac{1}{T_{ij} + T_{ji}}$ 双方向交通量の和の逆数

■ グラフ決定後の線分への矢印付与

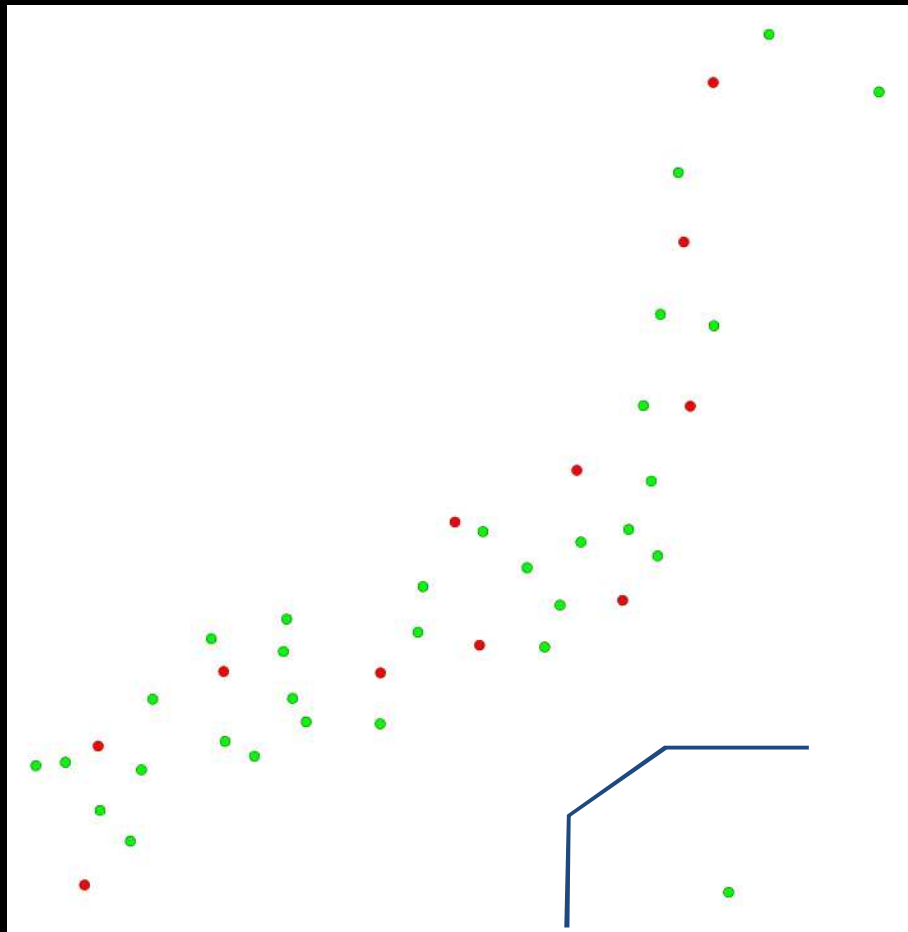


■ 線分の色

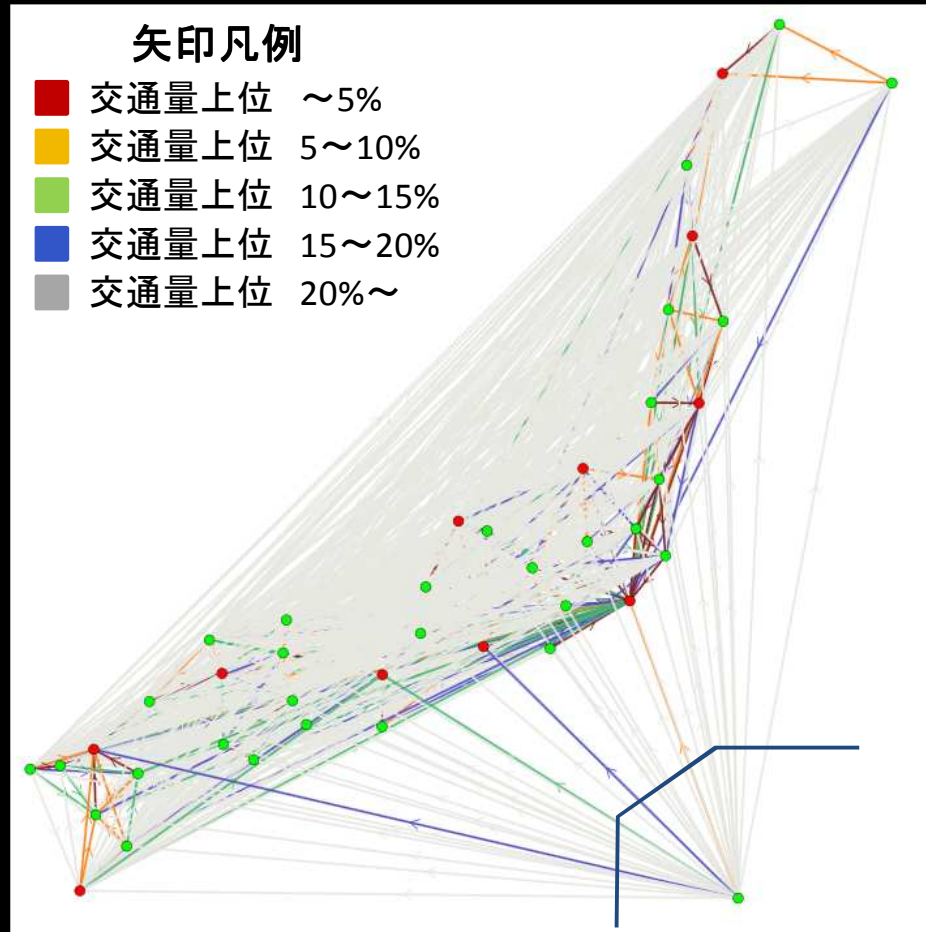
■	交通量上位	~5%
■	交通量上位	5~10%
■	交通量上位	10~15%
■	交通量上位	15~20%
■	交通量上位	20%~

都道府県間流動表(42ゾーン)への適用

空グラフ



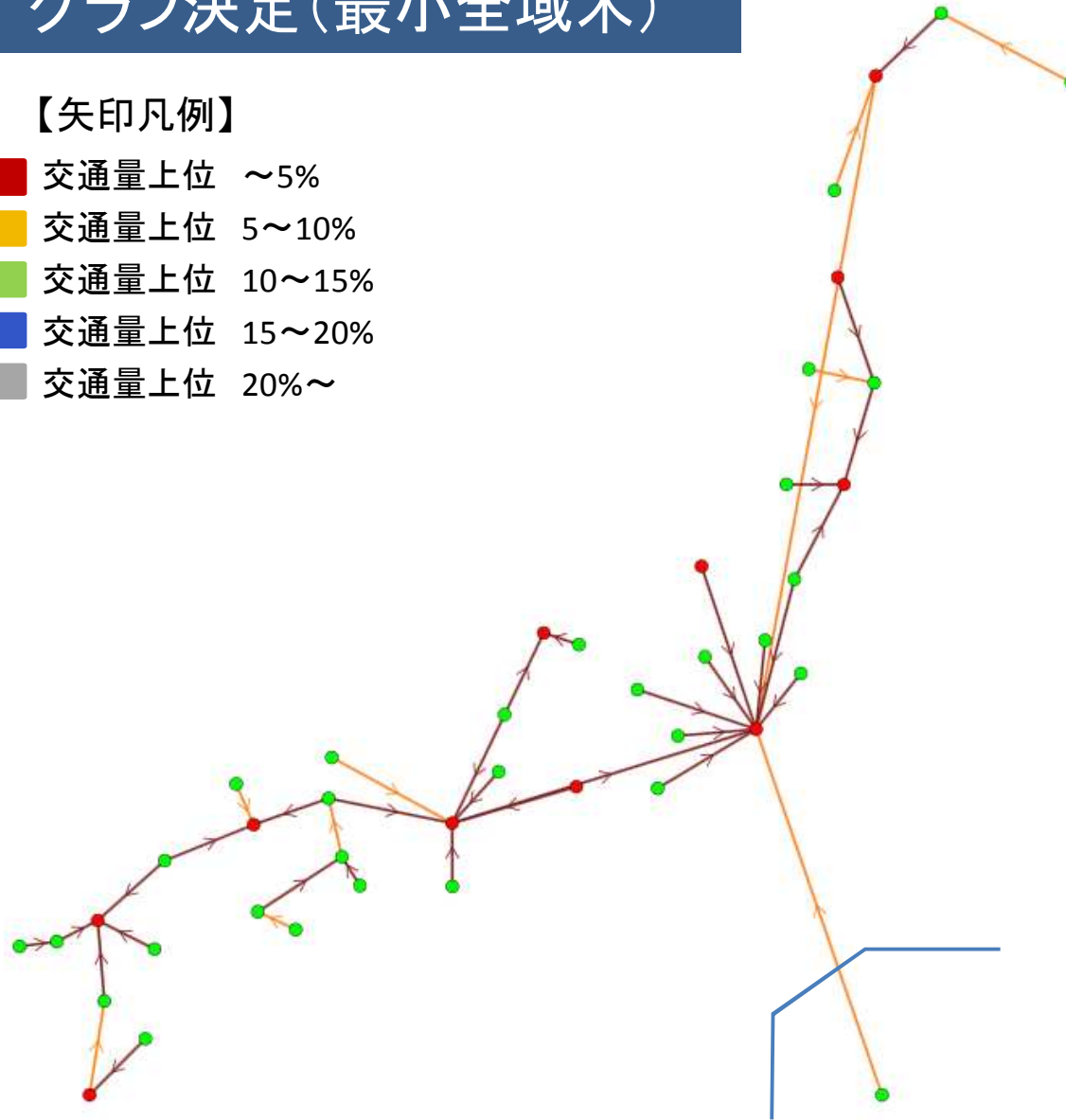
完全グラフ(線分:861)



グラフ決定(最小全域木)

【矢印凡例】

- 交通量上位 ~5%
- 交通量上位 5~10%
- 交通量上位 10~15%
- 交通量上位 15~20%
- 交通量上位 20%~

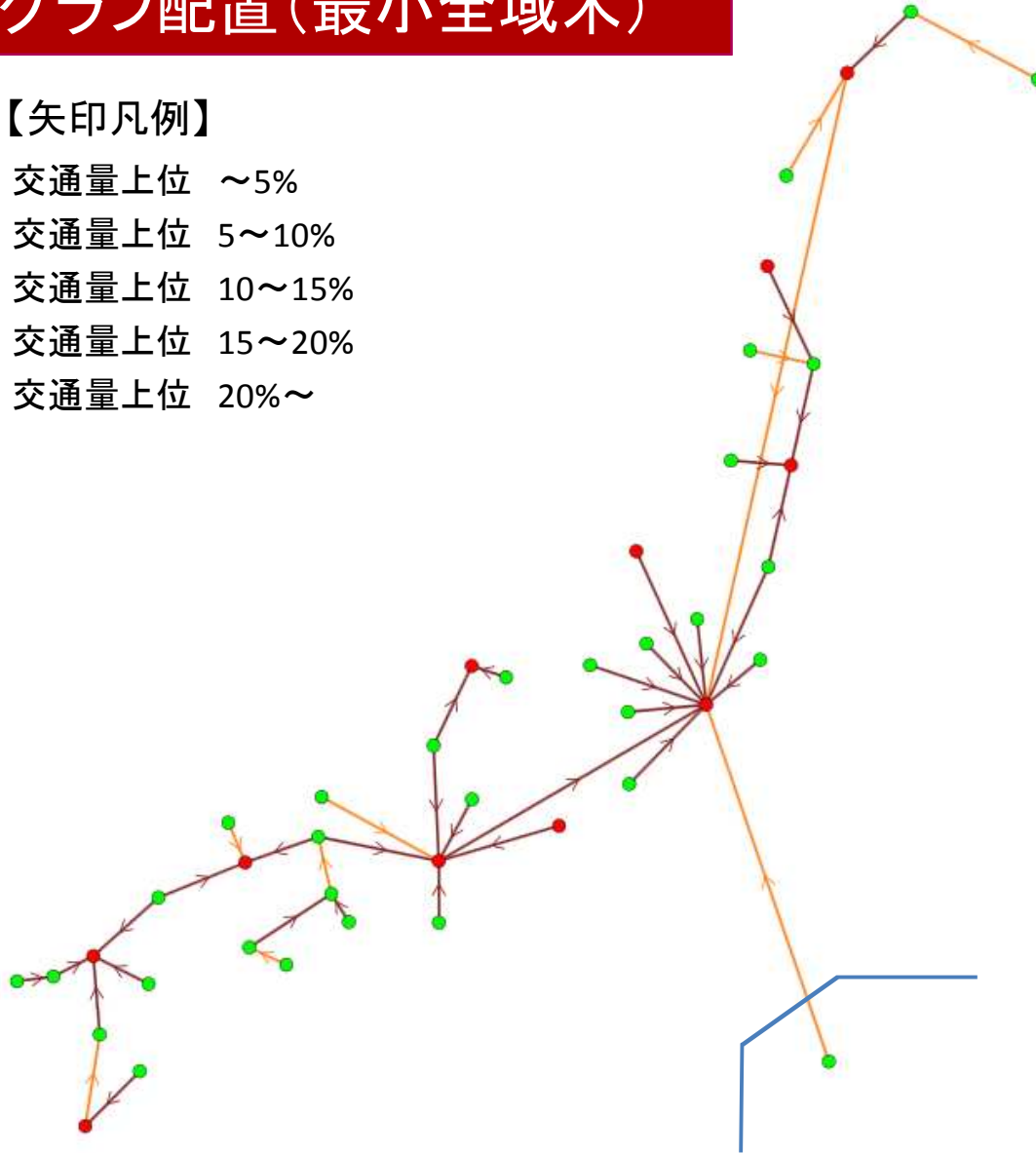


	線分	交通量
完全 グラフ	861 (100%)	100%
最小 全域木	41 (4.8%)	63%

グラフ配置(最小全域木)

【矢印凡例】

- 交通量上位 ~5%
- 交通量上位 5~10%
- 交通量上位 10~15%
- 交通量上位 15~20%
- 交通量上位 20%~

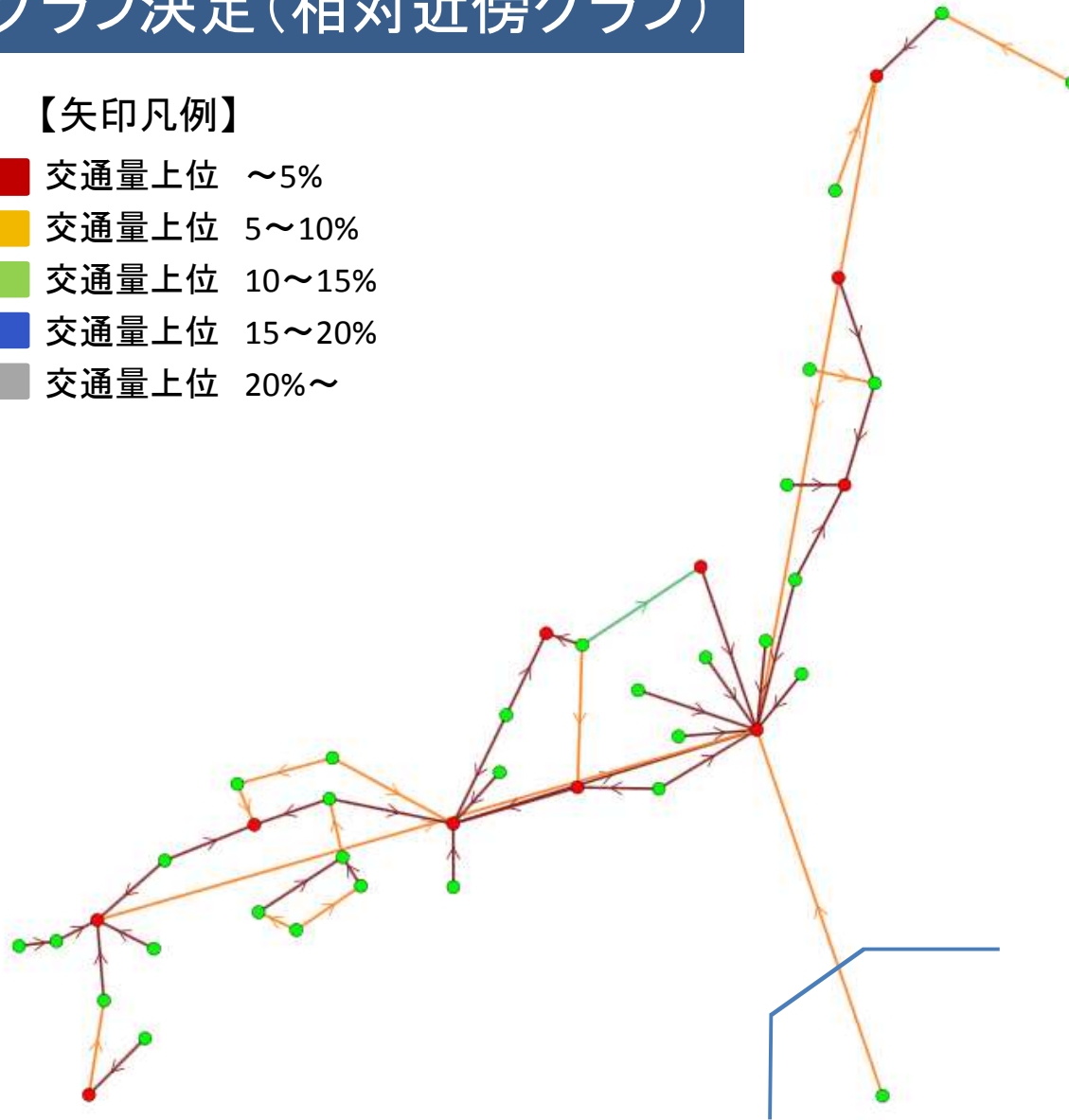


	線分	交通量
完全 グラフ	861 (100%)	100%
最小 全域木	41 (4.8%)	63%

グラフ決定(相対近傍グラフ)

【矢印凡例】

- 交通量上位 ~5%
- 交通量上位 5~10%
- 交通量上位 10~15%
- 交通量上位 15~20%
- 交通量上位 20%~

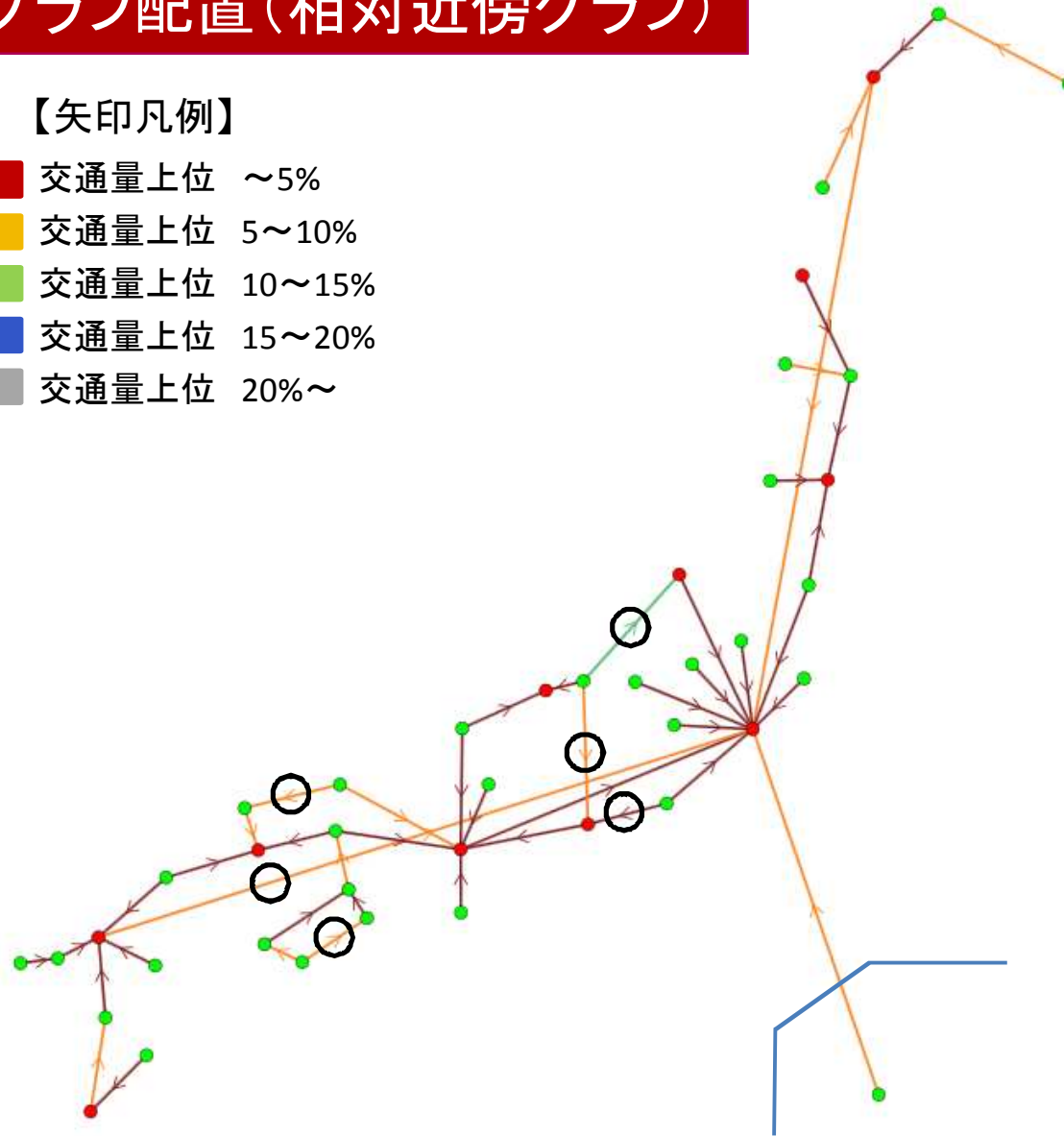


	線分	交通量
完全 グラフ	861 (100%)	100%
最小 全域木	41 (4.8%)	63%
相対近傍 グラフ	47 (5.5%)	66%

グラフ配置(相対近傍グラフ)

【矢印凡例】

- 交通量上位 ~5%
- 交通量上位 5~10%
- 交通量上位 10~15%
- 交通量上位 15~20%
- 交通量上位 20%~

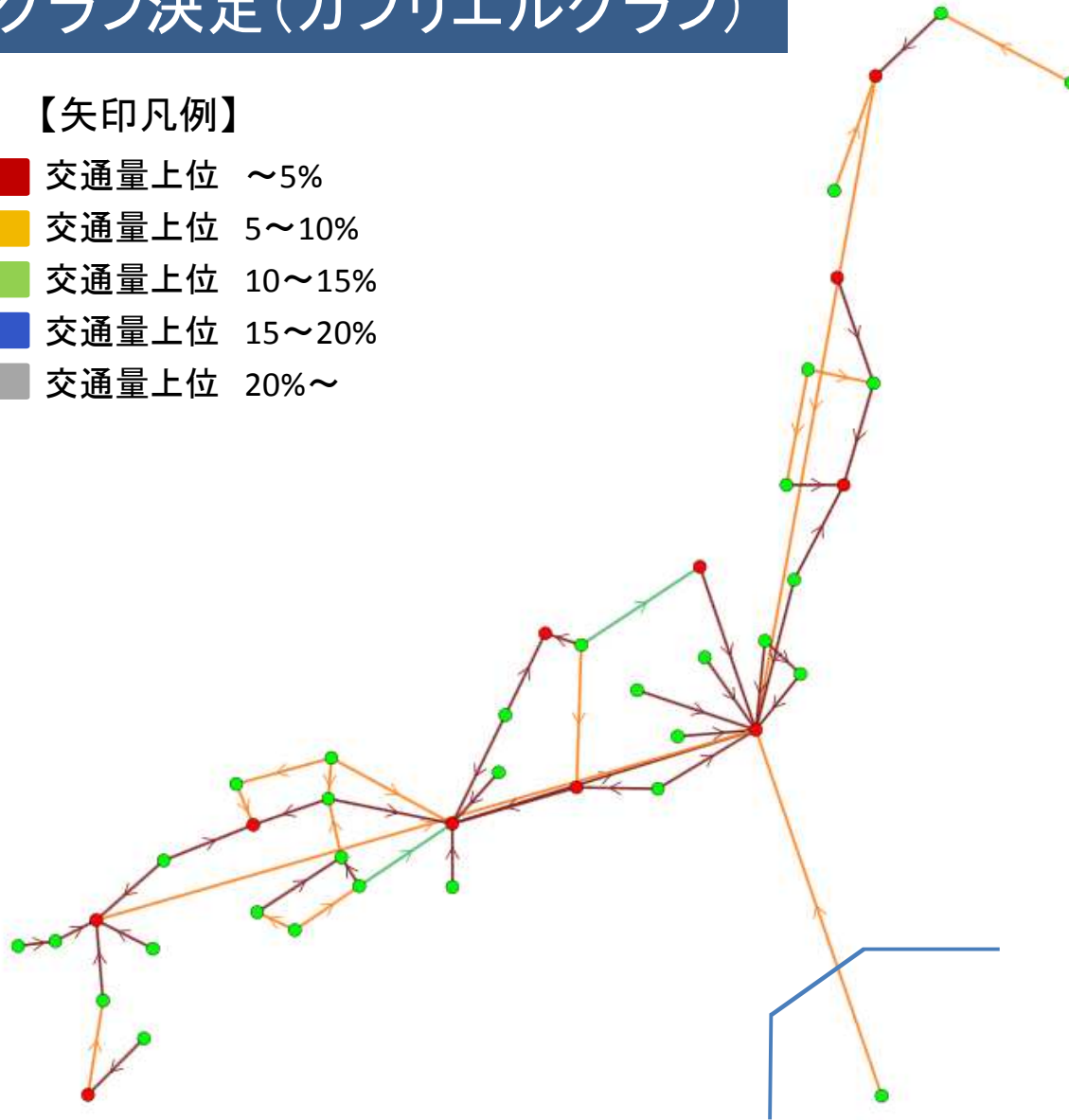


	線分	交通量
完全 グラフ	861 (100%)	100%
最小 全域木	41 (4.8%)	63%
相対近傍 グラフ	47 (5.5%)	66%

グラフ決定(ガブリエルグラフ)

【矢印凡例】

- 交通量上位 ~5%
- 交通量上位 5~10%
- 交通量上位 10~15%
- 交通量上位 15~20%
- 交通量上位 20%~

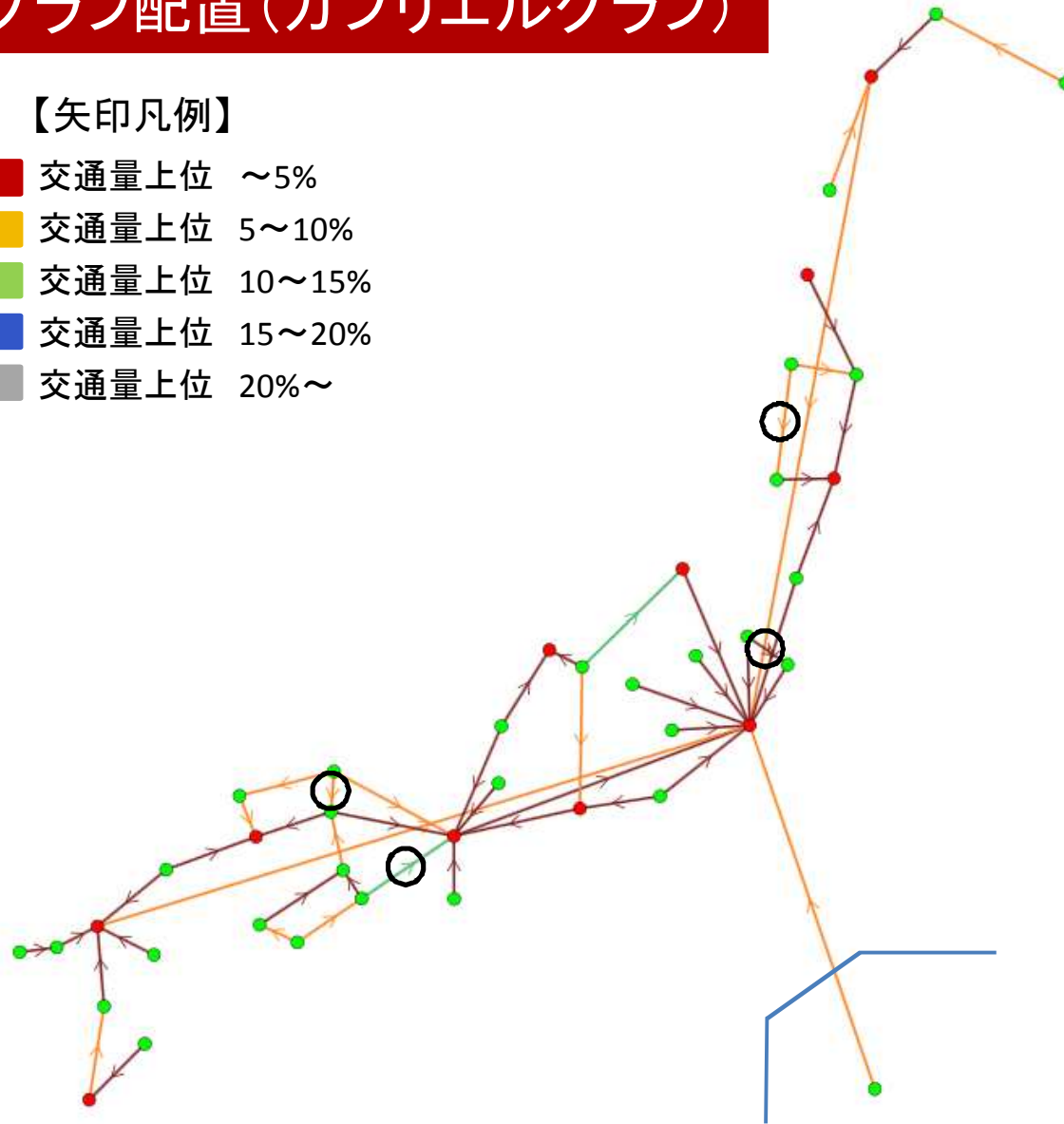


	線分	交通量
完全 グラフ	861 (100%)	100%
最小 全域木	41 (4.8%)	63%
相対近傍 グラフ	47 (5.5%)	66%
ガブリエル グラフ	51 (5.9%)	70%

グラフ配置(ガブリエルグラフ)

【矢印凡例】

- 交通量上位 ~5%
- 交通量上位 5~10%
- 交通量上位 10~15%
- 交通量上位 15~20%
- 交通量上位 20%~



	線分	交通量
完全 グラフ	861 (100%)	100%
最小 全域木	41 (4.8%)	63%
相対近傍 グラフ	47 (5.5%)	66%
ガブリエル グラフ	51 (5.9%)	70%

本研究では、OD交通量データの視覚的表現に関し、

(1) 地域間の交通依存性やその階層性等の構造的な特徴を、近傍グラフ理論を用いて客観的に抽出する、とともに

(2) その結果を、カルトグラム作成手法を応用して、地理空間上に分かりやすく配置する

手法を提案・構築し、

(3) 事例分析を通して、一応の有効性を確認した。

今後は、パーソントリップデータなど、より大規模な交通ODデータや、情報・通信など交通以外のODデータへの適用等を通して、手法の改善を図るとともに、表現結果の解釈方法等についても検討を深めたい。