

「都市OSの創り方5 ビッグデータ解析で福岡市の未来 (5分後から数年後まで)を予測する！編」

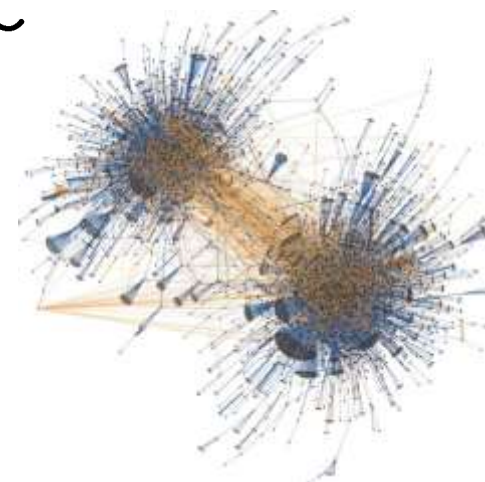
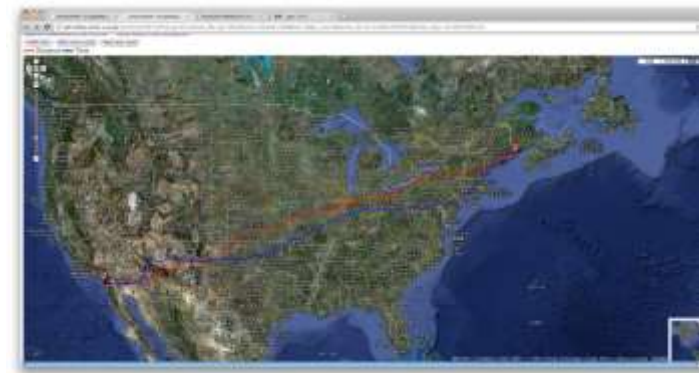
藤澤 克樹

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所

2015年4月10日

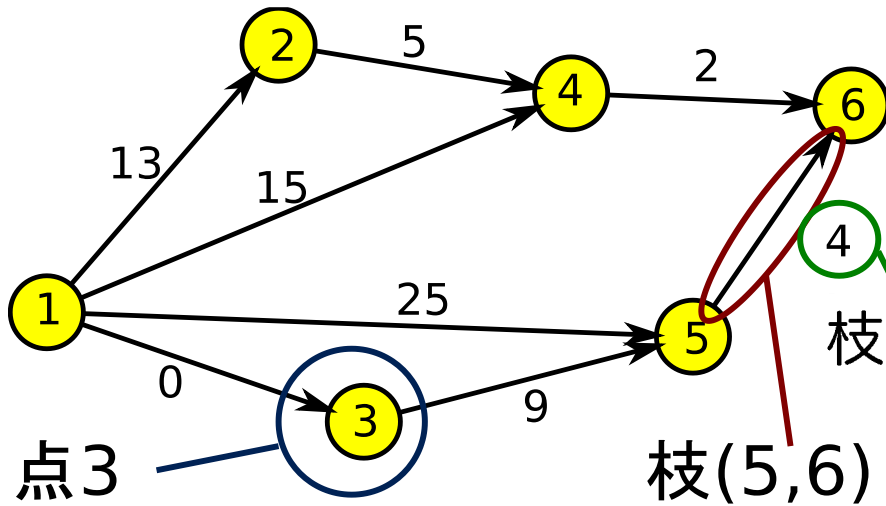
九州大学共進化社会システム創成シンポジウム

～都市OSはこう創る！～

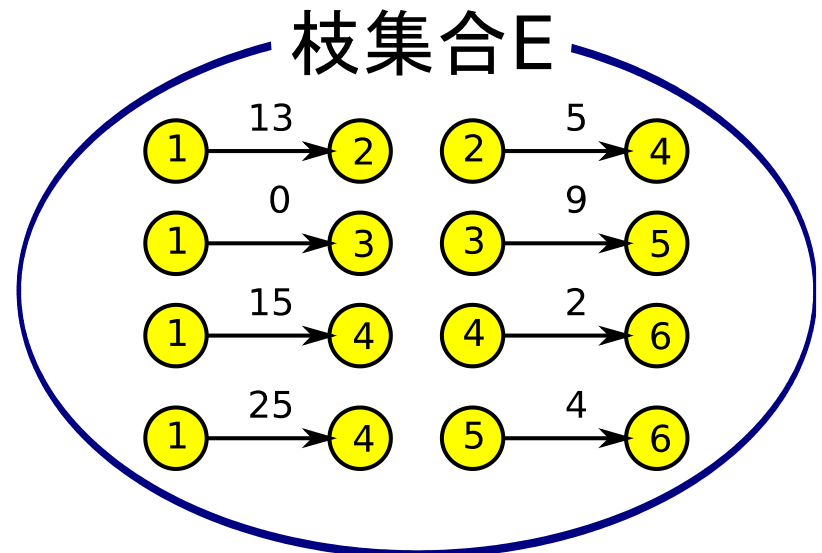
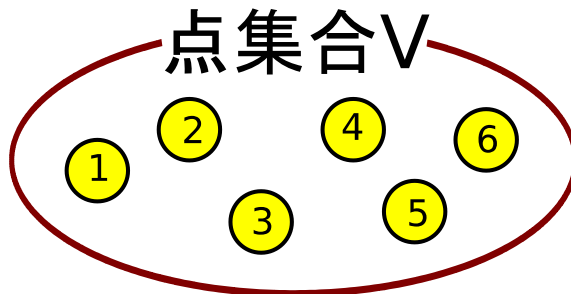


グラフとは？

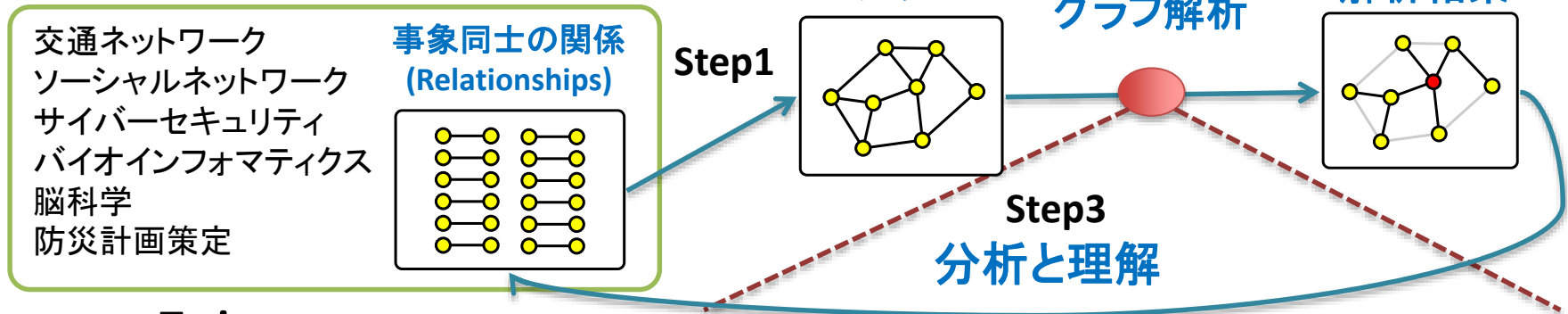
- グラフは **点** と **枝** で構成される



グラフの例 (点数6、枝数8)



大規模グラフ解析の応用分野



Twitter



ソーシャルネットワーク

6,160万点 & 14億7千万枝

- 並列グラフ探索 (幅優先探索)
- 最適化 (最短路, 最大フロー, 最小費用フロー)
- クラスタリング (グラフ分割, コミュニティ抽出)

全米道路ネットワーク

2,400万点 & 5800万枝



ニューラル・ネットワーク @ Human Brain Project

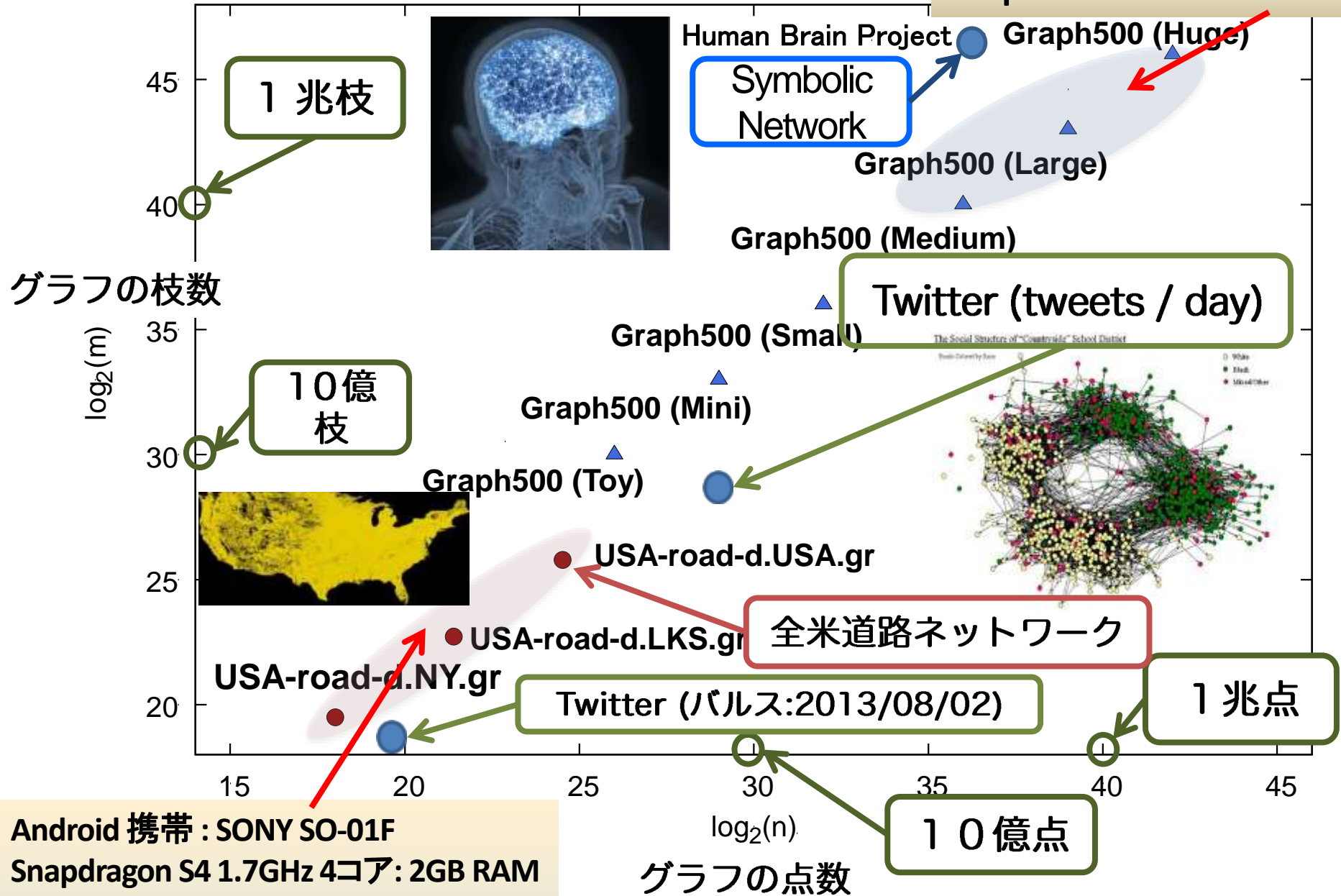
890億点 & 100兆枝

サイバーセキュリティ
150億/日 のアクセスログ



Image: Illustration by Mirko Ilic

京スパコン: 65536ノード
 Graph500: **17977 GTEPS**



Android 携帯 : SONY SO-01F
 Snapdragon S4 1.7GHz 4コア : 2GB RAM
1.03GTEPS: 235.06MTEPS/W

グラフの点数

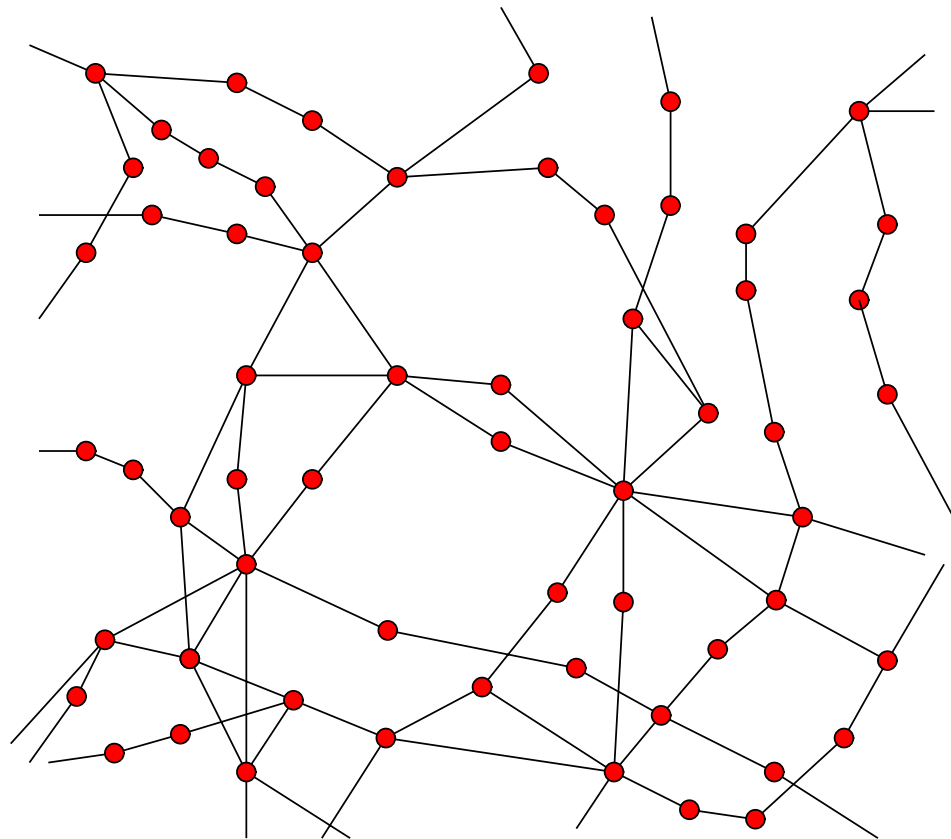
実社会ネットワークのグラフ化

- 道路ネットワーク
 - NY のジョージワシントン橋周辺



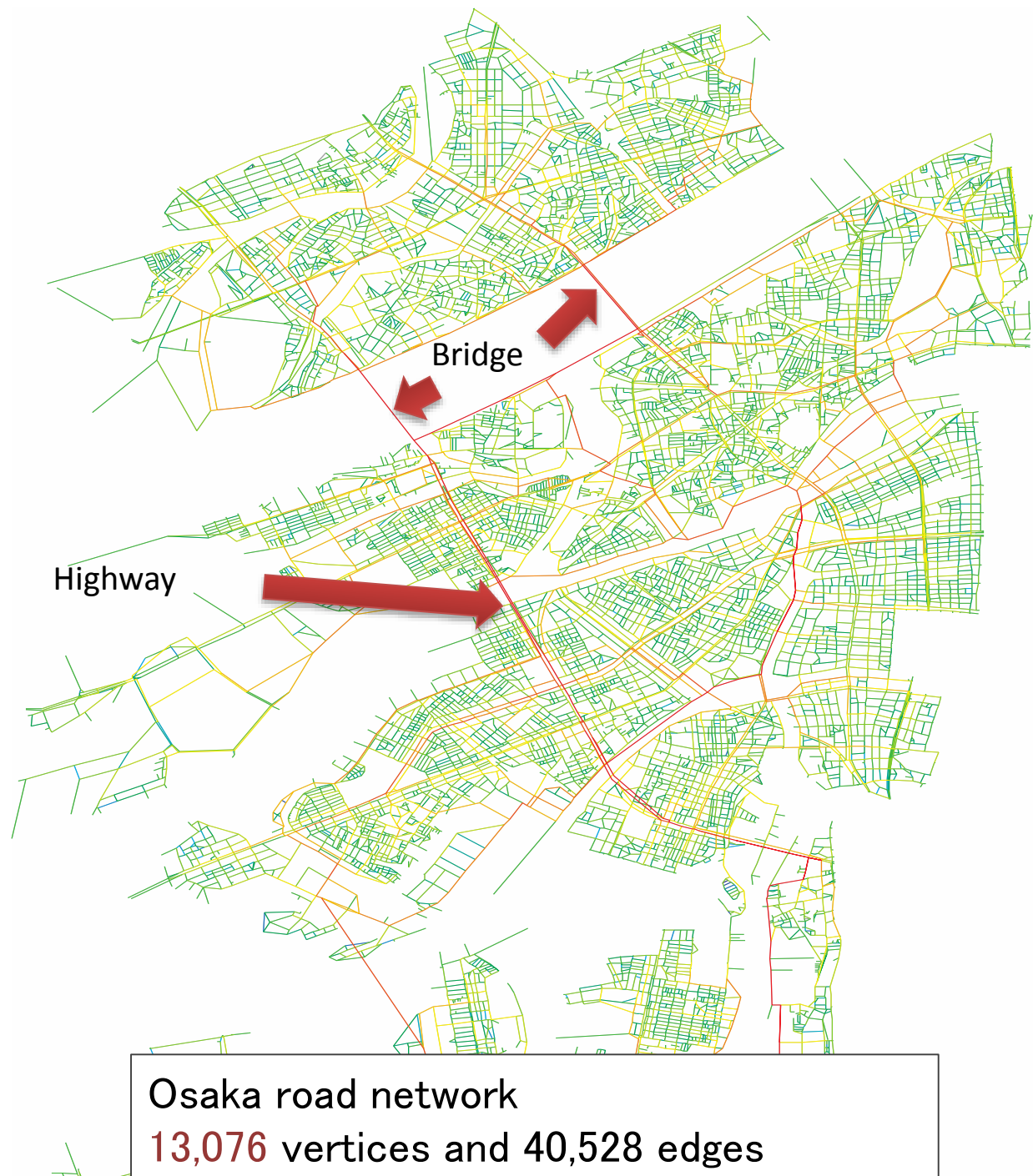
実社会ネットワークのグラフ化

- 鉄道ネットワーク
 - 東京メトロの路線図



点の重要性

- グラフの特徴を示す指標
 - 中心性、PageRank …
- 中心性指標が広く利用されている
 - 近年は中心性が盛んに研究されている
- 中心性指標にもいくつか種類がある
 - 各点に接続されている枝数 (Degree Centrality)
 - **各点が最短路に含まれる回数 (Betweenness Centrality)**
 - 最も遠い点までの最短距離 (Graph Centrality)
 - 各点までの最短距離 (Closeness Centrality)

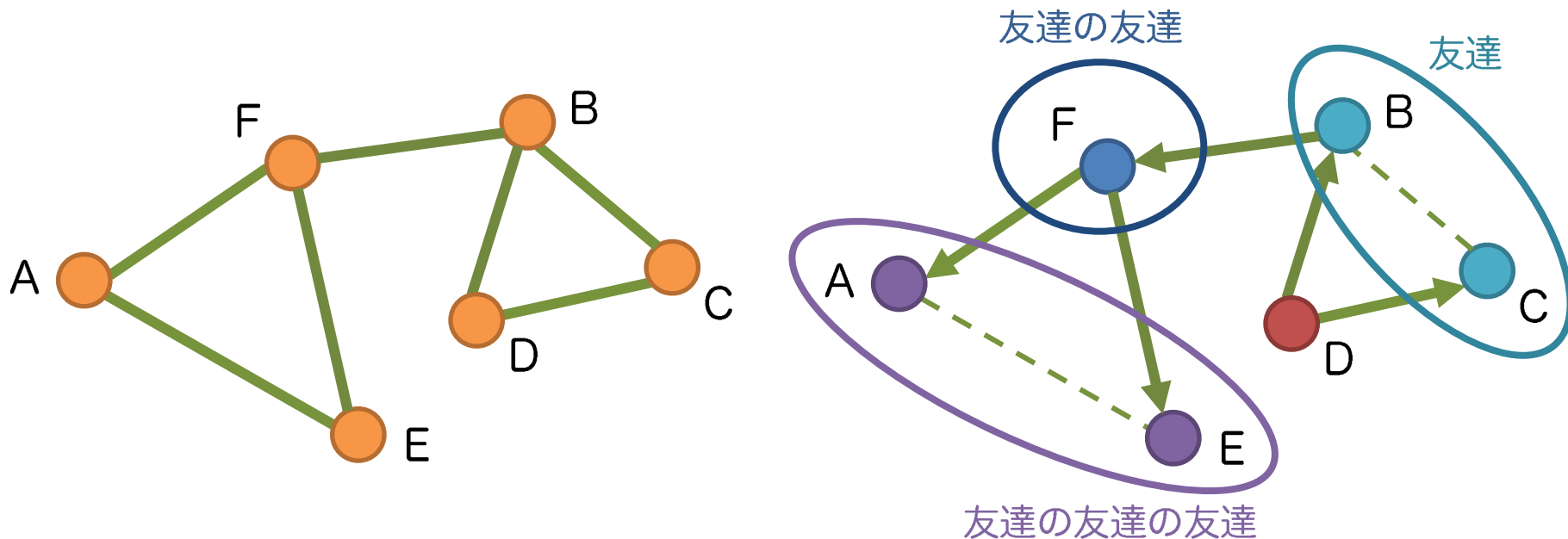


ソーシャルネットワーク

- 問題

- A君の友達はEさんとF君
- B君の友達はCさんとDさんとF君
- C君の友達はDさん
- E君の友達はF君
- さてDさんの友達の友達は誰？

答) F君





Graph500技術の応用

Twitter ネットワークの解析

ユーザ 21,804,357 からの幅優先探索の結果



- フォロー・ネットワーク
 - ユーザ数 (点数) 41,652,230
 - フォロー関係 (枝数) 2,405,026,092



2009 年に取得した
フォロワー数が1以上のユーザ

ホップ数	ユーザ数	割合 (%)	累積割合 (%)
0	1	0.00	0.00
1	7	0.00	0.00
2	6,188	0.01	0.01
3	510,515	1.23	1.24
4	29,526,508	70.89	72.13
5	11,314,238	27.16	99.29
6	282,456	0.68	99.97
7	11536	0.03	100.00
8	673	0.00	100.00
9	68	0.00	100.00
10	19	0.00	100.00
11	10	0.00	100.00
12	5	0.00	100.00
13	2	0.00	100.00
14	2	0.00	100.00
15	2	0.00	100.00
合計	41,652,230	100.00	-

- Graph500 ベンチマーク

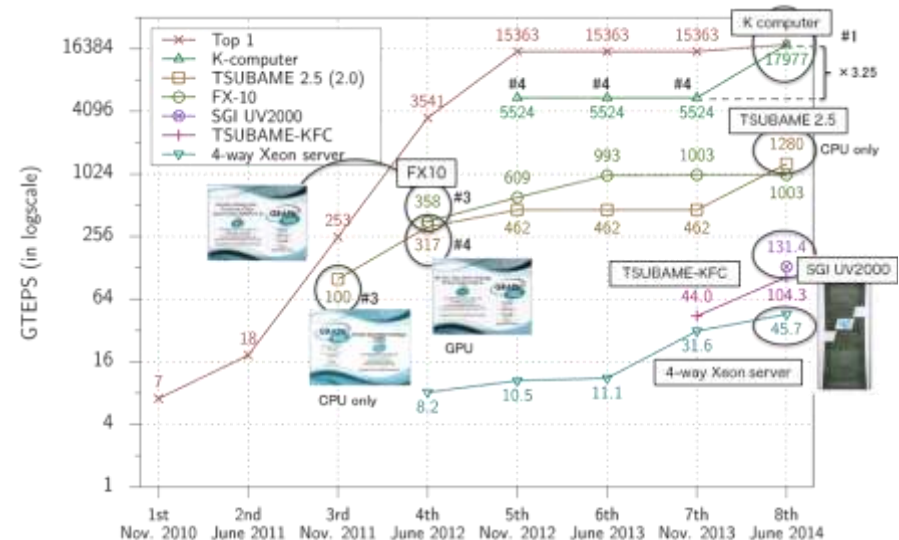
- 幅優先探索の性能「1秒間に通過した枝数 TEPS」を用いて、コンピュータの性能を比較する

0.069 秒で探索可能
⇒ **21.28 GTEPS (10⁹ TEPS)**

図5-6 / スーパーコンピュータ「京」の概要と主な成果

1. 概要

- 平成18年4月に国家基幹技術として、プロジェクトを開始。富士通と理化学研究所が共同開発。
- 平成23年6月、11月と連続で世界スパコン性能ランキング(TOP500)において1位を獲得。
- 平成24年9月28日に供用開始。
- 分野で最高の賞である「ゴードン・ベル賞」を2年連続(平成23、24年度)で受賞。
- 実用に近い総合的な性能を評価する「HPCチャレンジ賞」を4年連続(平成23~26年度)で受賞。
- 平成26年6月にビックデータの解析性能を評価するランキング(Graph500)において1位を獲得。
- 平成26年7月に「京」のネットワーク技術が(公財)発明協会から最も優れた発明として恩賜発明賞を受賞。
- プロジェクト経費: 約1,110億円(平成18年度~平成24年度)



グラフ解析と最適化の今後

九州大学

「センター・オブ・イノベーション(COI)プログラム」

共進化社会システム創成拠点



CESS

Center for Co-Evolutional Social System

共進化社会システム創成拠点



KYUSHU UNIVERSITY



1. 都市OSが目指す共進化社会

共進化社会システム創成拠点

市民のQOLが向上し活動が活性化する社会

スマートモビリティ (ヒト/モノのモビリティ)

- ・大量輸送から個別輸送までの連続的サービス
- ・交通弱者への配慮と多様性への対応
- ・移動手段とサービスの新しい共有化
- ・ICTを利用した移動体全体の最適化
- ・非常時対応可能な平時システム
- ・インフラ (交通網) 整備への柔軟な対応
- ・新しい交通政策とそのための制度
- ・様々なサービスに対応した生活の利便性へ



にしてバスナビ



震災避難シミュレーション

市民参加・住民主体の活力ある社会

ユビキタス (情報モビリティ)

- ・社会の中の情報表示の革新
- ・子供、高齢者、外国人にもわかりやすい情報提供
- ・個人端末から公共表示まで幅広い表示デバイス提供
- ・双方向コミュニケーションシステムの提供
- ・放送や通信インフラの変化への柔軟な対応



ライオンズクラブ
世界大会2016

- ・ビッグデータの社会的利用
- ・サイバーフィジカルシステム (CPS) 構築
- ・センサネットワークやCPSシステムによる大量データの収集
- ・ビッグデータ解析による社会制御と新しい価値創造ビジネスの創生

MICE



ELカード



多言語アプリケーション



循環型・低炭素社会

スマートエネルギー (エネルギーモビリティ)

- ・いつでもどこでも使えるエネルギー
- ・安全で軽量かつ高効率なエネルギーシステム
- ・環境に優しいエネルギー源
- ・既存システムとの共生
- ・エネルギーの個人化 (個人への課金)
- ・社会インフラ整備に依存しない仕組み
- ・移動体のエネルギー源の多様化
- ・新エネルギー産業の創出



水素社会のイメージ (西日本新)



エネファーム



福岡版スマートエネルギー構想 (FDC)

都市行政を効率化・最適化する都市インフラ

都市行政インフラ



行政職員
インフラ企業



交通シミュレーション



福岡市営地下鉄延伸



福岡空港滑走路増設



福岡市都市交通基本計画

Big&Openデータでサービス拡充する都市インフラ

データ・アプリケーションインフラ



アイデアソン・データソン・ハッカソン



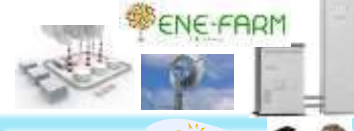
BODIC.org



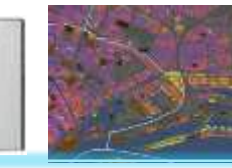
福岡市オープンデータ

分散エネルギー源を効率運用する都市インフラ

エネルギーインフラ



水素ステーション配置



エネルギー地図

ソフトウェア センサー デバイス



有機EL
デバイス



ELカード

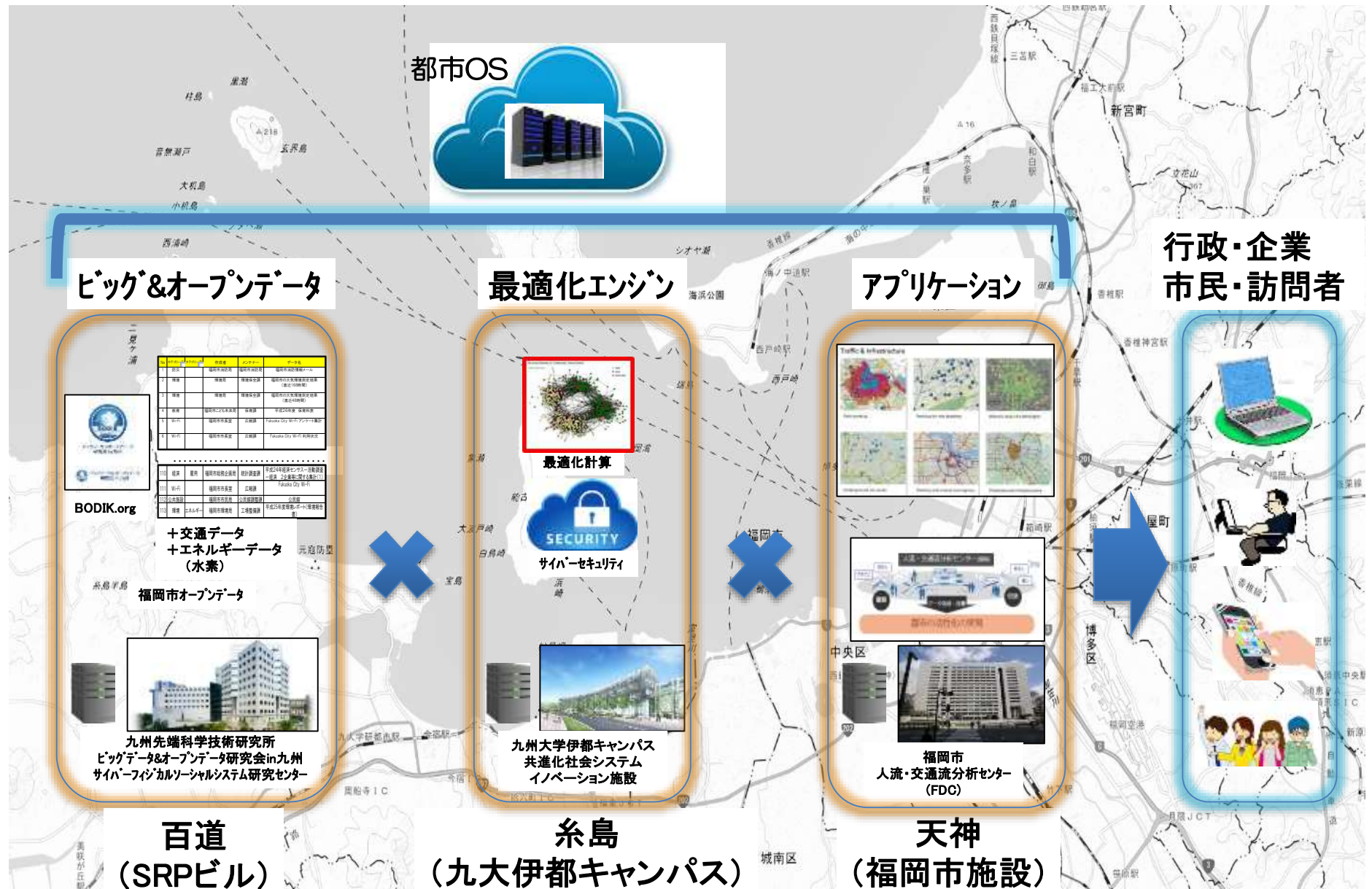
都市OS



燃料電池
デバイス



2. 福岡市での都市OS 社会実証実験



3. 都市最適化システム プロトタイプ

共進化社会システム創成拠点

センサーデータ	Bluetoothビーコン	Bluetoothセンサー
	屋内レーザースキャナ	ネットワークカメラ
	P-Sen	B-Sen
ヒト移動情報	キャリアデータ	
	Person Trip	交通センサスデータ
	福岡市WiFiデータ	九州フリーWiFiデータ
交通情報	鉄道ネットワーク	運行データ
	地下鉄路線	乗降数データ
	バスネットワーク	バスプローブ
	クルマプローブ	
	タクシープローブ	
地理情報統計情報行政情報	人口統計データ	福岡市オープンデータ
	デジタル地図データ	道路ネットワーク
		歩行者ネットワーク

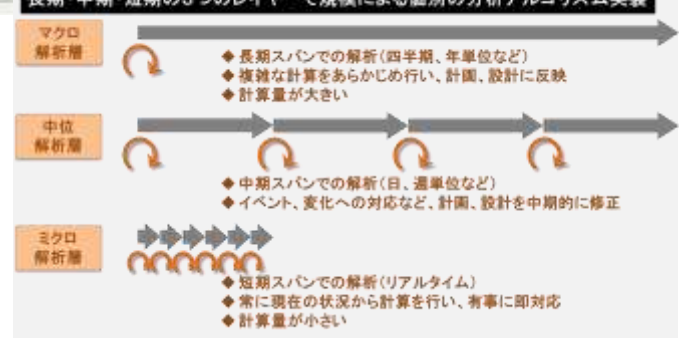
H27は学内設置センサからの取得

H27はオープンデータ、購入による取得

P-Senエリア

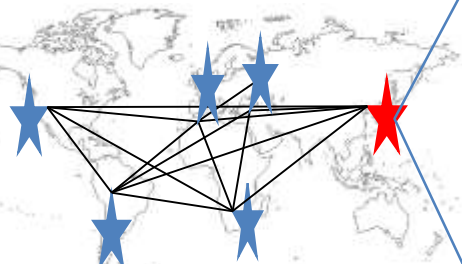
共進化社会システム
イノベーション施設

- 各種データを取得して各解析層のプロト開発
- 学内のセンシングデータを活用して解析検証



都市OSの展開

複数の都市への展開
複数の都市でデータ共有



世界の各都市を結ぶ
都市OSネットワーク

都市OSの機能

- 新しい都市サービスの共通基盤の提供
- 都市間のデータやサービス共有の仕組み
- 都市規模に応じたスケーラビリティの担保
- 災害時などの緊急時サービスの他都市での代替
- 新しいサービス・アプリケーションのための抽象化

共通基盤データを活用したサービス



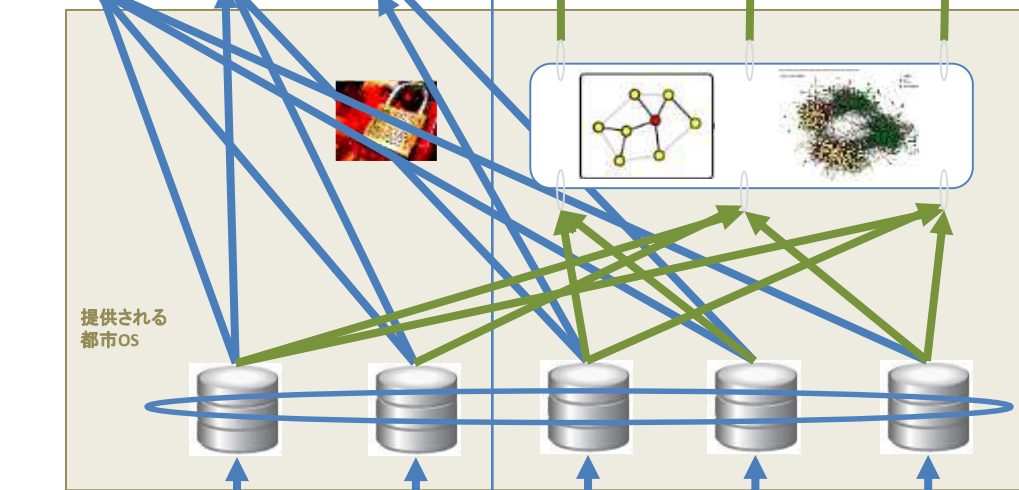
- サービス例 「市民苦情対応」
- サービス例 「イベント警備計画」
- サービス例 「交通情報」

シミュレーションによる 解析結果を用いた未来サービス



- リアルタイム混雑予測と迂回路誘導
- 群衆心理を考慮した避難誘導
- 災害状況に即したライフラインの確保
- 災害時にFCVを分散電力源に
- イベントなどのピーク需要に移動式水素ステーション活用

- 未来サービス例 「渋滞のない交通管制」
- 未来サービス例 「円滑な災害避難の計画」
- 未来サービス例 「多局面での電気需要対応」



提供される都市OS

- 情報伝達
- 行政情報
- ヒト情報
- 天気・災害情報
- 交通情報
- エネルギー情報

大面積・高精細有機EL

オープンデータ

アプリケーション・サービス

- 共通データを様々な市民サービスへ展開
- 新規民間サービス支援のしくみ
- エネルギー可視化システム
- 最適なHEMSと制度
- スマート&マルチモーダル交通



最適化・分析

- 自動で最適化、制御ボトルネック検出
- リアルタイムシミュレーション
- セキュリティ

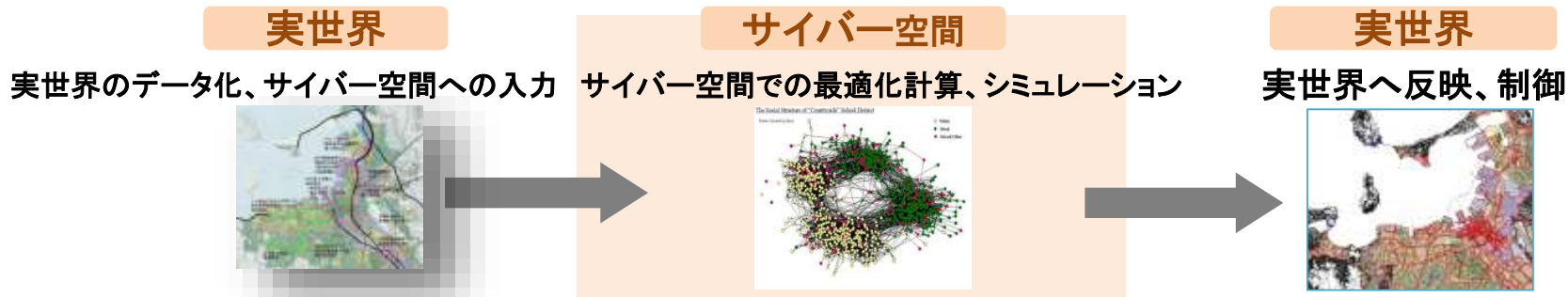
データの格納

- いろいろな情報を共通データ基盤に吸い上げ、必要に応じて取り出し
- 都市OSコアソフトウェア
- データ格納リポジトリ

データ

- オープンデータ
- センサーネットワーク
- 経済的・快適な燃料電池車
- 経済的・エコな燃料電池

実世界の様々な情報をモデリング。サイバー空間にて分析し、実世界にフィードバック



長期・中期・短期の3つのレイヤーで規模による個別の分析アルゴリズム実装

マクロ解析層



- ◆ 長期スパンでの分析(四半期、年単位など)
- ◆ 複雑な計算をあらかじめ行い、計画、設計に反映
- ◆ 計算量が大きい

中位解析層



- ◆ 中期スパンでの分析(日、週単位など)
- ◆ イベント、変化への対応など、計画、設計を中期的に修正

ミクロ解析層

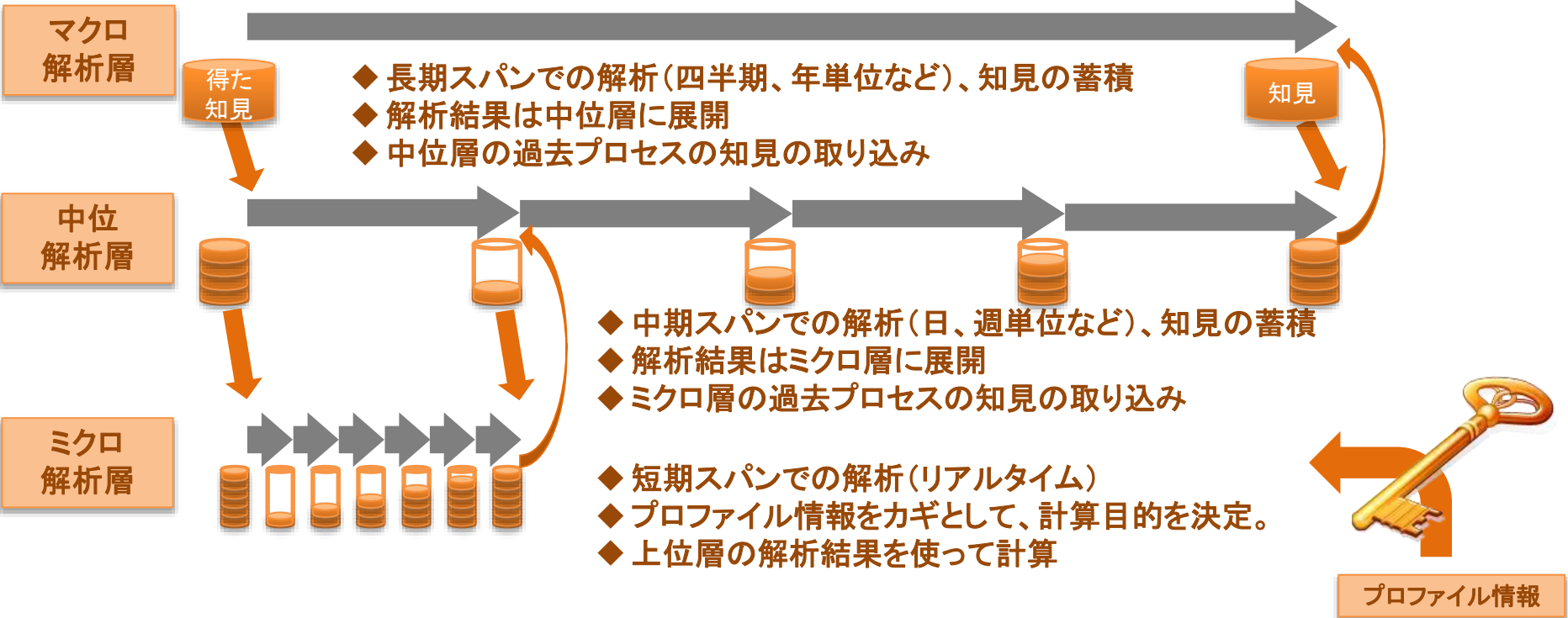


- ◆ 短期スパンでの分析(リアルタイム)
- ◆ 常に現在の状況から計算を行い、有事に即対応
- ◆ 計算量が小さい

人間の快適性をモデリング。何を解析するか決定し解析、実世界にフィードバック。



長期・中期・短期の3つのレイヤーごとにデータを連携して解析。



大

小



計算量

データ量



小

大

上層: NP 困難な最適化アルゴリズムの実行

1. **MIP(混合整数計画問題)**の場合: 0-1 整数変数の数 = n で計算量はおよそ $O(2^n)$
2. 前処理による変数の削除と並列計算の適用 (CPUコア中心の大規模スレッド並列: 分枝カット法の適用)
3. **データ量は 10^5 以下 (整数変数の数)**
4. 施設配置問題、集合被覆(分割)問題、スケジューリング問題などの最適化問題

中層: 多項式時間最適化アルゴリズムの実行

1. **SDP(半正定値計画問題)**の場合: n = 行列の大きさ, m = 制約式の数で計算量はおよそ $O(n^3 + m^3)$
2. 疎性の追求と前処理さらに並列計算の適用 (CPUコア中心の大規模スレッド並列が中心だが、今後は CPU + GPU による高速化)
3. **データ量は 10^8 以下 (非負変数の数) : 10^6 以下 (制約条件数)**
4. グラフ分割、センサーネットワーク、サポートベクターマシンなどの最適化問題

下層: グラフ解析アルゴリズムの実行

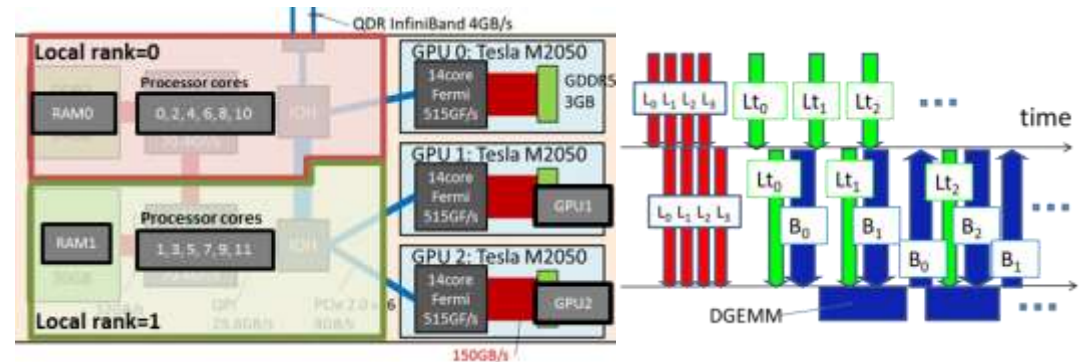
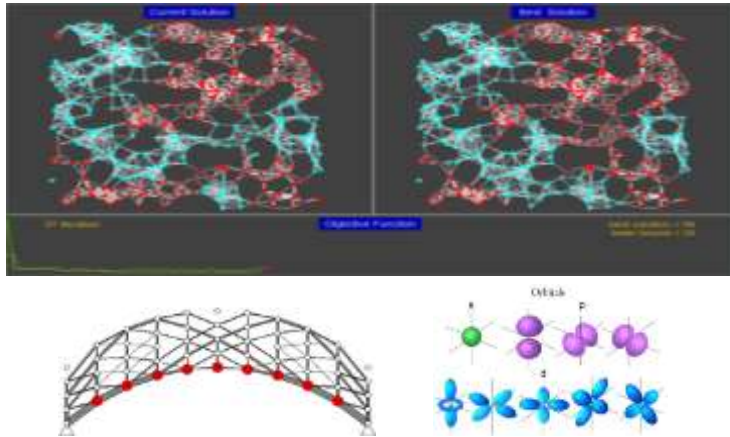
1. **ダイクストラ法** (1対全最短経路問題: ヒープ付き)の場合: n = 点数, m = 枝数で計算量はおよそ $O((n + m) \log n)$
2. グラフ探索の局所的な評価では優先キュー(ヒープ木)を用いる \Rightarrow 実行時間、メモリ消費量が安定的 (CPUコア中心の大規模スレッド並列が中心だが、高速ストレージ技術による超大規模グラフ処理)
3. **データ量は $10^{12} \sim 10^{14}$ 以下 (グラフの点数と枝数)**
4. 最短経路計算、ネットワーク内での各点の重要度を推定。各点の周辺、及び広域内における影響 (情報の伝播力) を計算

内点法アルゴリズムの並列計算による超大規模半正定値計画問題の解決

藤澤CREST + 遠藤CREST

半正定値計画問題(SDP)は現在最も注目されている**数理最適化問題**の一つ

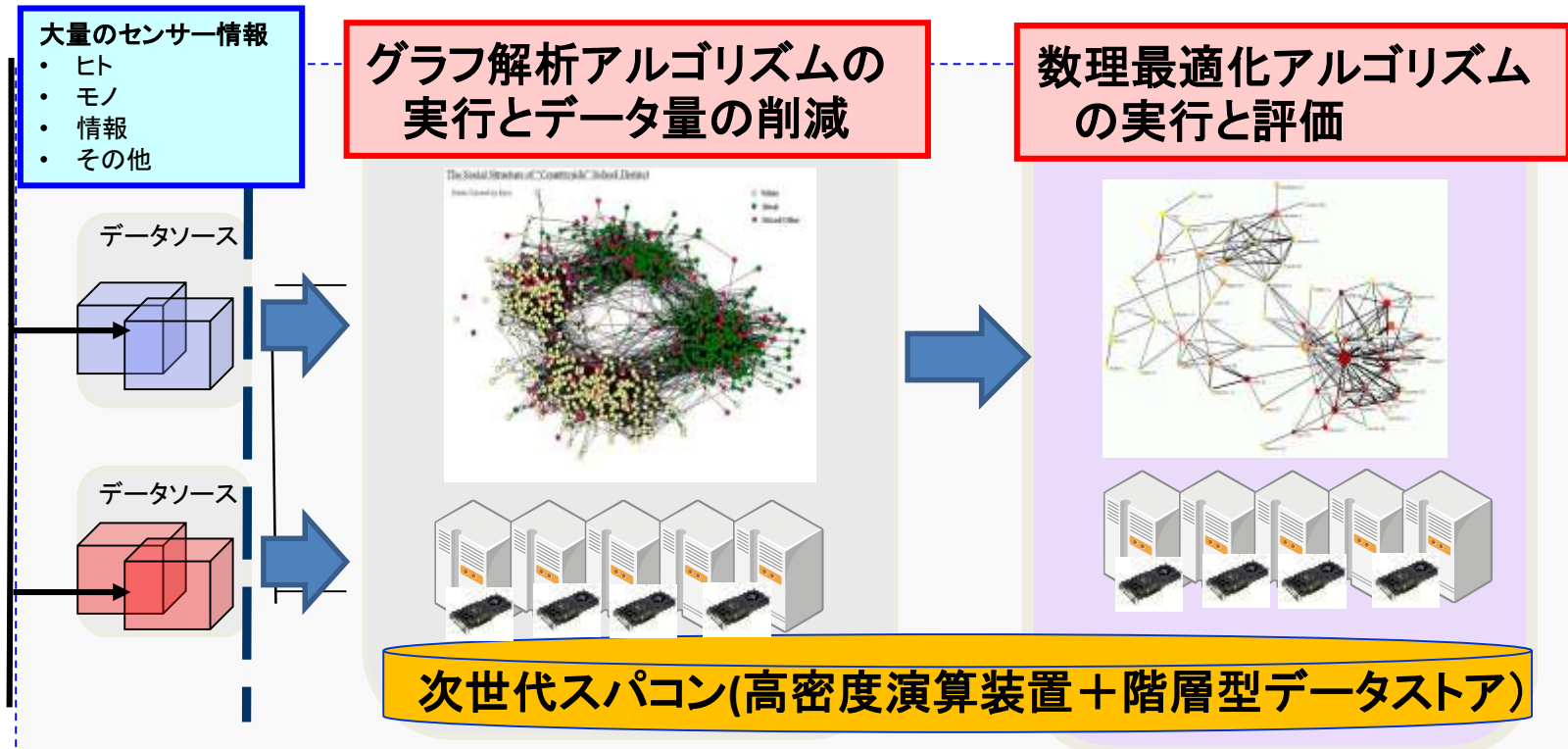
- 組合せ最適化、データマイニング、量子化学、制御分野など非常に幅広い応用を持っている
- 高速かつ安定した反復解法である内点法アルゴリズムが存在している



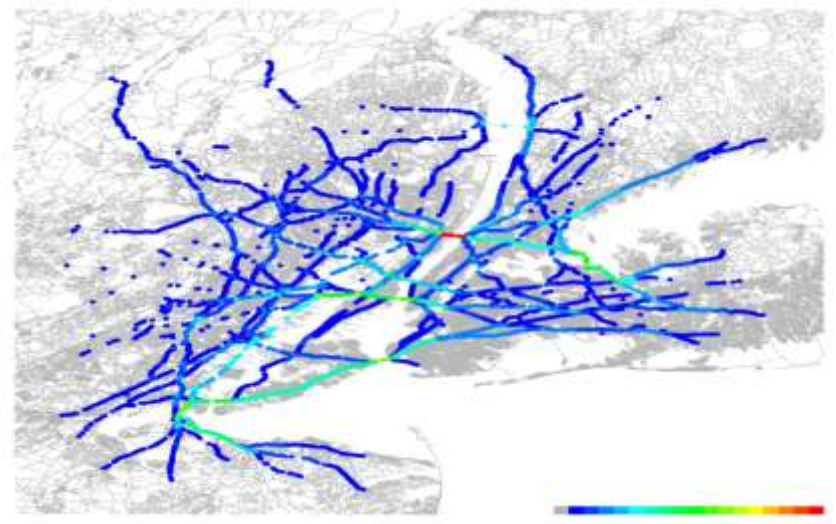
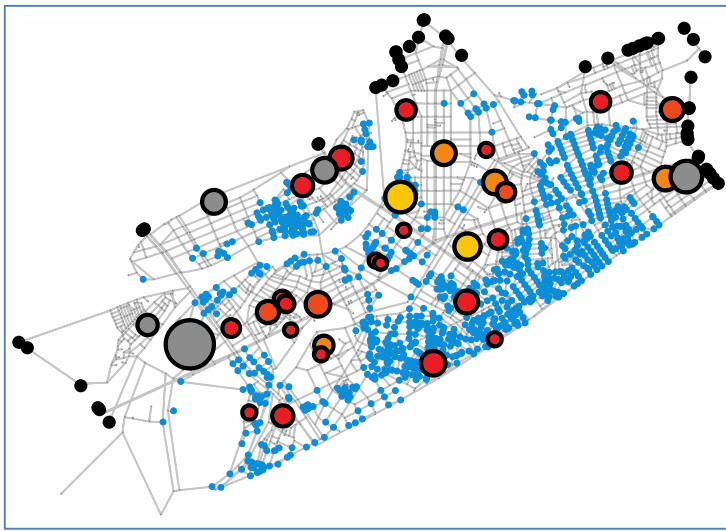
- **SDPARA** は現在開発 & 公開を行なっている大規模な SDP に対する並列ソルバー
- 内点法アルゴリズムには**2つの大きなボトルネックが存在** ⇒ 大規模な並列化
 - **ELEMENTS** ⇒ 線形方程式系の行列 (SCM) の生成: **メモリバンド幅依存**
 - **CHOLESKY** ⇒ SCM に対するコレスキー分解: **倍精度浮動小数点演算依存**
- **ELEMENTS**: ノード内の NUMA 関係の情報を読み取り、自動的に最適な processor affinity や memory interleaving の設定を行う ⇒ MPI + OpenMP による2段階並列計算 ⇒ 東工大 TSUBAME 2.0 **1360ノード(16,320 CPU cores)** での高いスケーラビリティ
- **CHOLESKY**: 通信と計算のオーバーラップ & 多数 GPU による並列計算 ⇒ 東工大 TSUBAME 2.5 **4080 GPUs(NVIDIA K20X)** での大規模分散並列化 ⇒ 浮動小数点演算**1.713 PFlops** の達成と**世界最大規模の SDP(233万制約超)**を初めて解くことに成功した

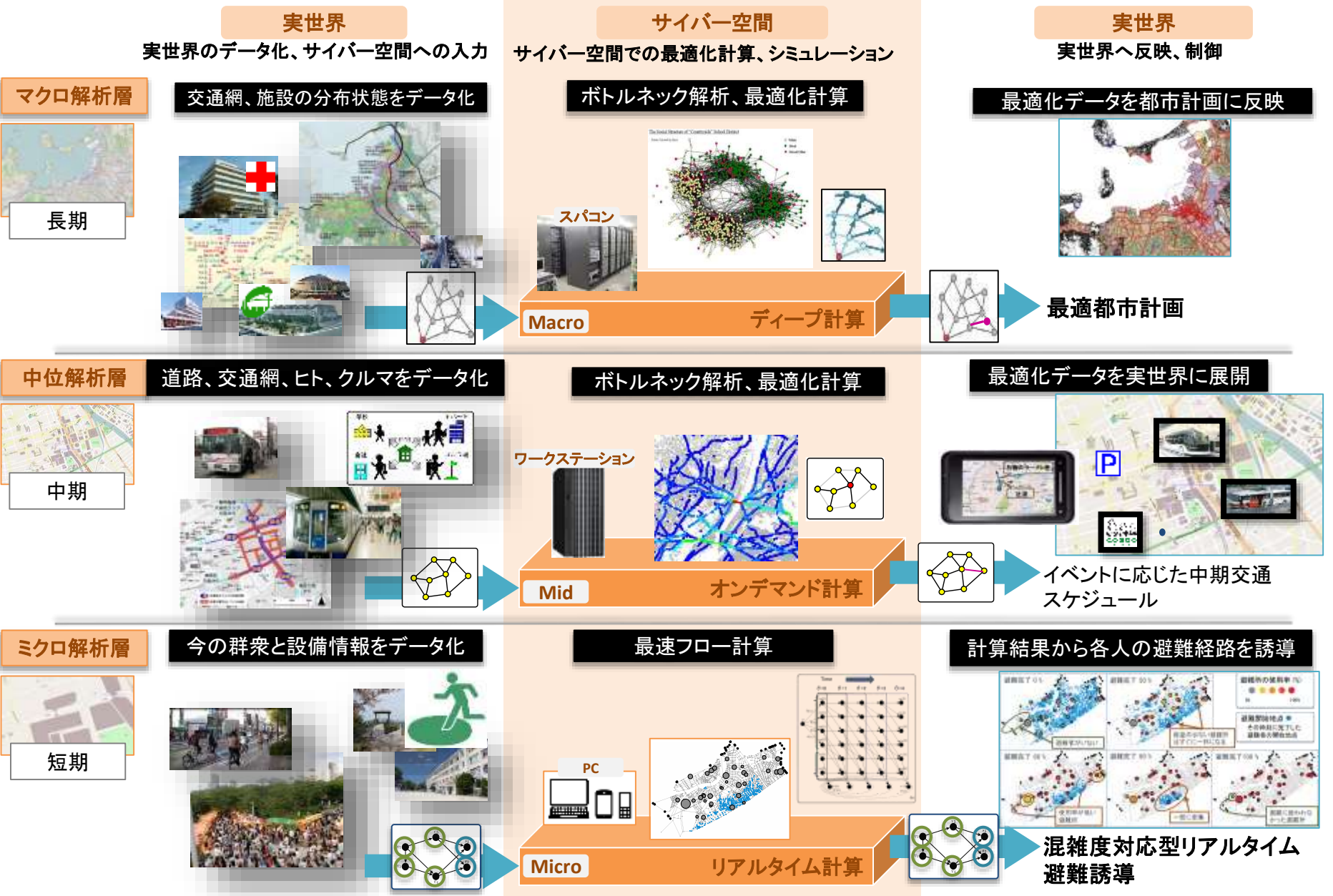
グラフ探索及び数理最適化ライブラリによる大規模グラフ処理基盤

- 大規模センサーから到着するストリーミングデータに対して精緻な解析を実現する **大規模グラフ処理基盤**を開発する
- 大規模グラフ処理基盤は以下の処理系から構成される
 - グラフ解析アルゴリズムの実行**： 最短路計算、ネットワーク内での各点の重要度を推定。各点の周辺、及び広域内における影響（情報の伝播力）を計算 → 重要な要素を失うことなくデータ量を削減する
 - 数理最適化アルゴリズムの実行**： 施設配置問題、集合被覆（分割）問題、スケジューリング、配送計画問題などの数理最適化問題 → モビリティに関する改善提案
 - 大規模なセンサーデータを **高速かつ重要性を失うことなく縮約する** ことによって、精緻な解析を実現
- 計算及びデータ蓄積の基盤となる次世代スパコン
 - 並列数の爆発的増大、不均質化、高密度化 & 記憶装置の多階層化・大容量化



- 超大規模ネットワークに対する探索アルゴリズムとネットワークフローアルゴリズムの高速実装
- 数百万頂点～数兆頂点、数億枝～数百兆枝からなる超大規模なグラフ解析
 - 数百万人の被災者の避難経路の計算では数千万頂点のグラフ(1スレッドあたりのメモリ要求量1Gbytes)に対して、同時に数百万スレッド単位で各被災者毎の最短路計算と各点の重要度判定
- 新しい産業応用の開拓 → 1:ヒト/モノ 2:エネルギー 3:情報のモビリティ → 数理モデルとスパコンを用いた最適化(整数計画問題に対する並列ソルバー等)
 - 交通データに対する経路探索動的に変化する交通量等から高速な重要度判定を行い、渋滞の予測や交通管制等に活用
 - 過去の移動履歴の ODペアから地図データ(グラフ)上で最短路計算を繰り返して行い、中心性指標の計算を行う → 確率的な要素の考慮 → 中心性指標の高い部分には渋滞発生確率が高い可能性
 - 最速フローアルゴリズムによる緊急避難シミュレーション → センサーデータの活用
 - 大規模グラフデータの一括並列処理の開発(中心性、最短路、最大フロー等)





ネットワーク・フロー

アルゴリズム 最大流・最小費用流

- 分散したものを最適に集約する

応用 交通計画、電力網、輸送計画、避難計画

応用例

普遍的最速流による避難計画

群衆を避難所に避難させる

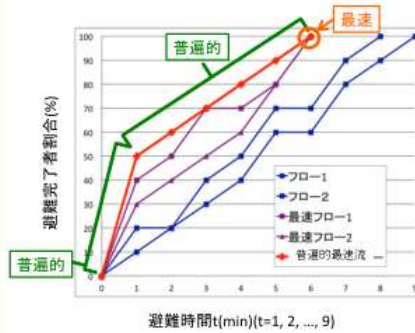
- 避難者の行動をフローとして捉える
- ネットワークフローベースのアルゴリズム
- どの時点でも到達避難者数が最大
- 避難完了が最速

普遍的最速流(Universally Quickest Flow : UQF)

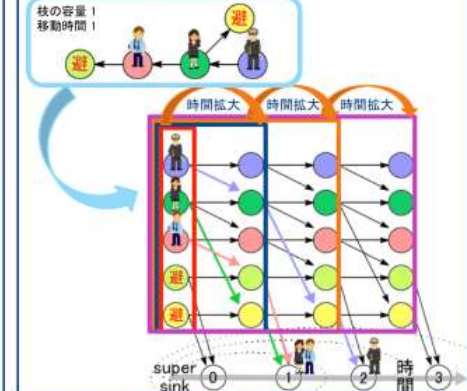
N. Kamiyama, "Studies on Quickest Flow Problems in Dynamic Networks and Arborescence Problems in Directed Graphs -A Theoretical Approach to Evacuation Planning in Urban Areas-", 2009

UQFの特性

1. 各時刻において避難所に到達する避難者数が最大。(普遍的)
2. 避難者全体の避難時間が最速。(最速)



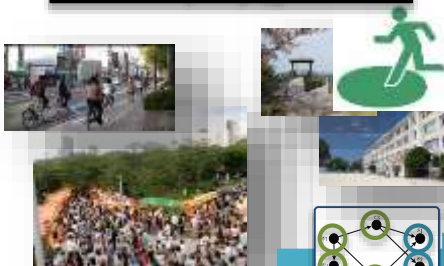
UQFのアルゴリズム



1. ネットワークの時間拡大。
2. 最大流量を求める。
3. 各容量の更新。
4. 全員が避難を完了するまで1~3を繰り返す。

マイクロ解析層

今の群衆と設備情報をデータ化



最速フロー計算



計算結果から各人の避難経路を誘導



混雑度対応型リアルタイム避難誘導

短期

天神地下街におけるリアルタイム避難計画策定

混雑度対応型リアルタイム避難誘導計画の策定

○は避難所: □は避難者(避難者が存在する枝)
混雑度: 赤(大) ←→ 青(小)



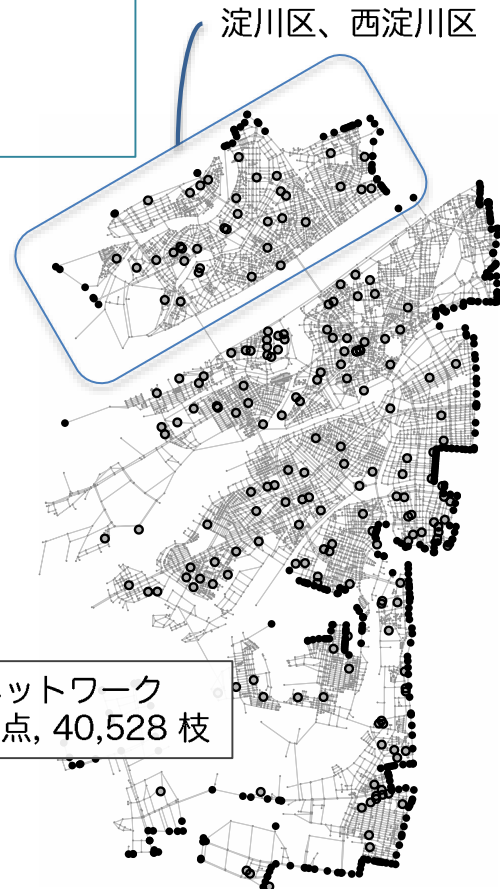
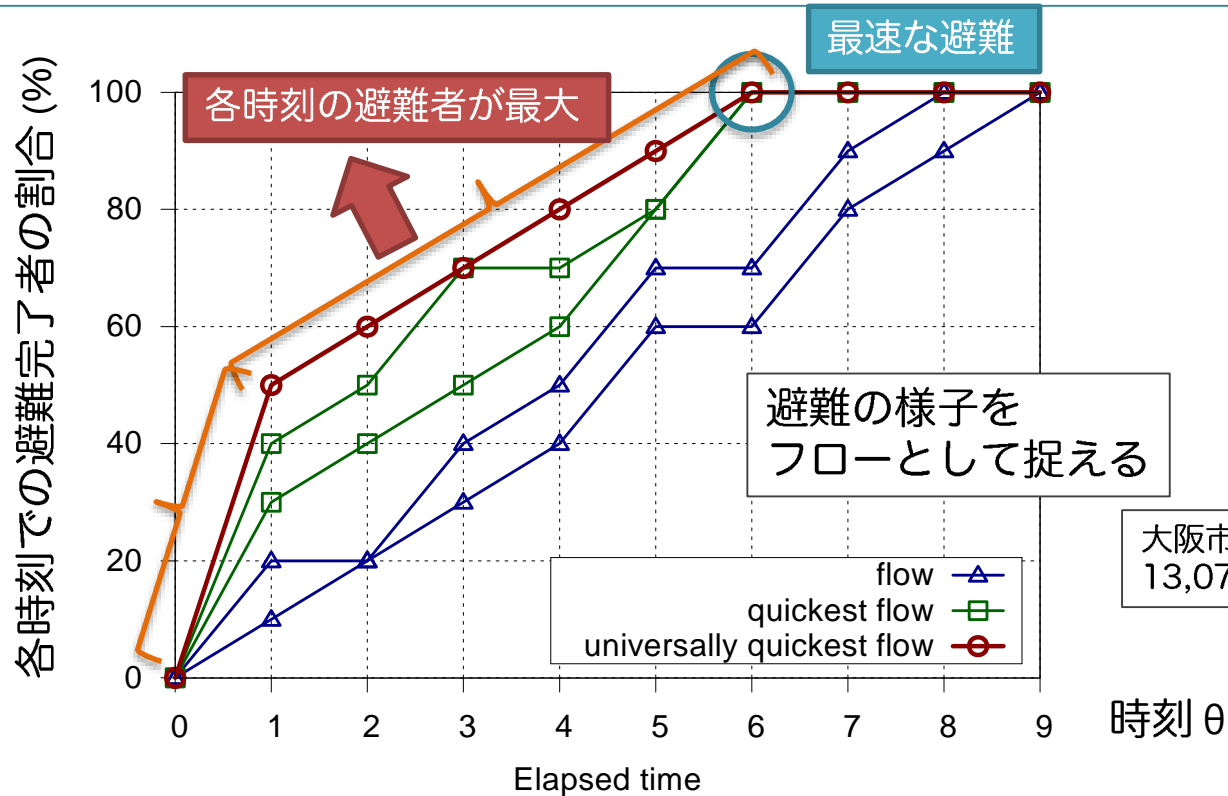
- 九州最大の繁華街・天神の渡辺通り直下（天神橋口交差点から渡辺通4丁目交差点の間）を南北に走る地下街
- 1番街から12番街まで
- 長さは約600メートル。
- 地下2階には計421台収容の駐車場
- 店舗面積は11,400m²、SC面積は28,000m²、テナント数は153
- 1日の歩行者通行量は約40万人



普遍的な最速流を用いた避難計画の解析

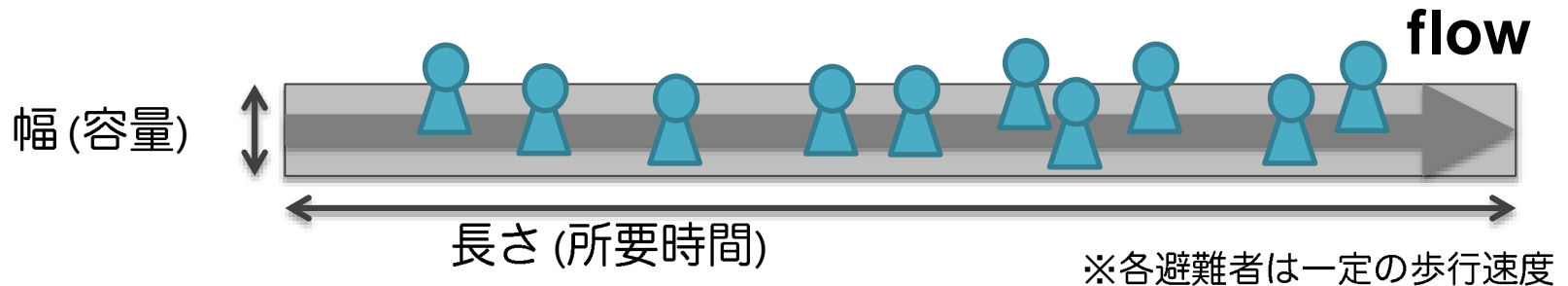
- 大規模津波災害では、迅速に1次避難所への避難が重要
 - 非常に短い避難時間で高台や津波避難ビルへの避難が求められる

- 普遍的な最速流を用いた津波災害の評価
 - 普遍的な最速流は、各時間で最大の流量となる最速流

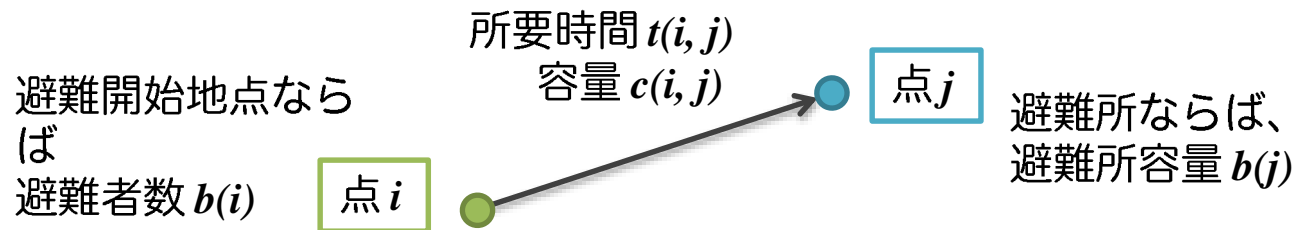


普遍的最速流: フローを用いた避難計画

- 所要時間と容量を考慮したフローにより、人流を表現



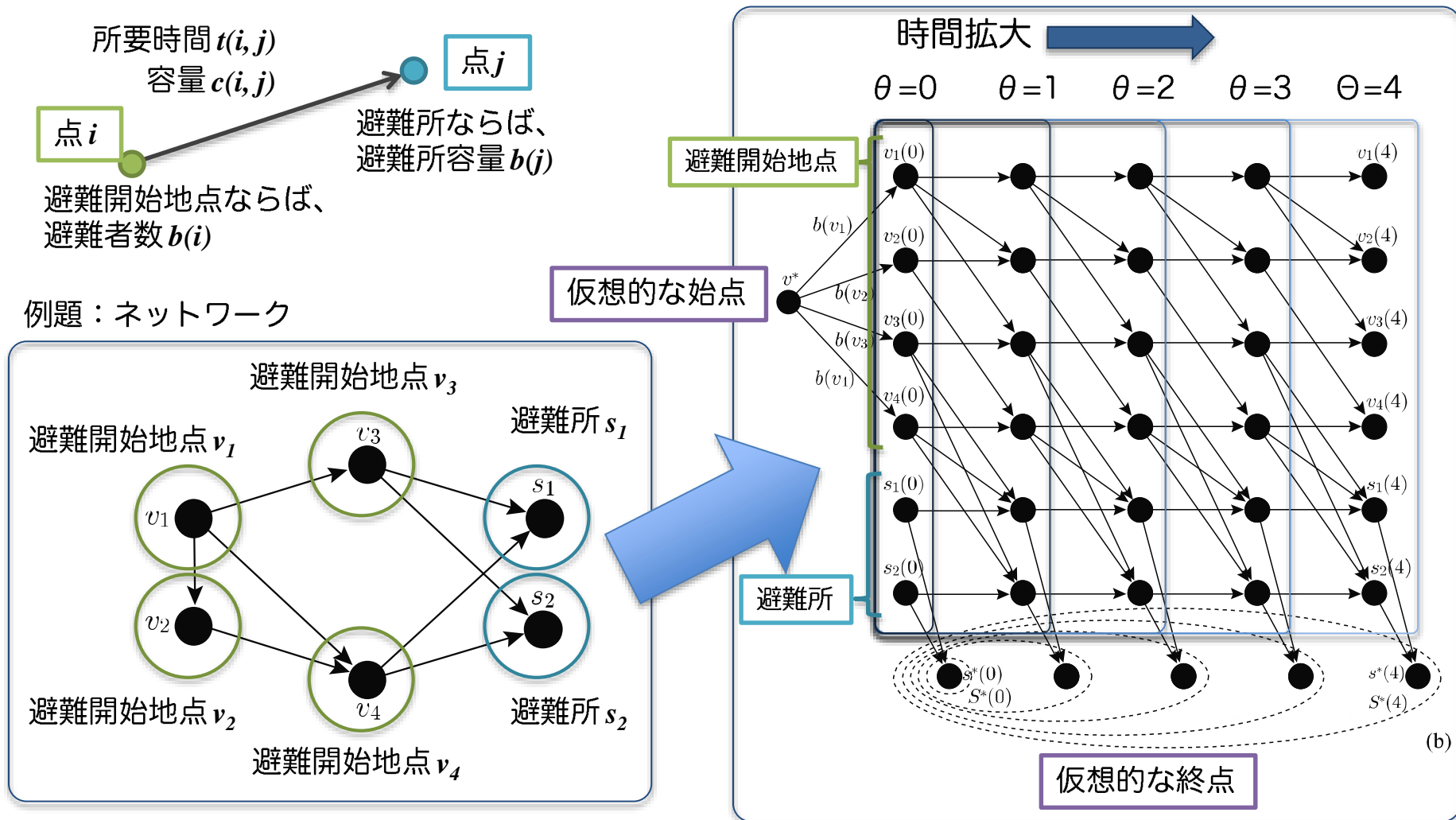
- 各点と各枝に与えられる制約
 - 点 (交差点): 避難者数 (避難開始地点) or 避難所容量 (避難所)
 - 枝 (道路等): 所要時間と容量



- 上記の制約を考慮した最適な避難計画を策定
 - 各経過時間での避難者数の総数の最大化、全避難時間の最小化

普遍的最速流 (Universally Quickest Flow)

- 各時刻の避難所完了者が最大かつ、避難者全体の避難時間が最小



避難者全員の避難が完了するまで、時間間隔毎に時間拡大と最大流計算を繰り返す

徳島県沖洲エリア

海岸

避難計画における設定

- 避難者数: 7,445 名
- 容量制約あり避難所: 11 箇所 (1,674名分)
- 容量制約なし避難所: 3 箇所
- 歩行速度: 1m/s
- 時間: 1秒

グラフサイズ

- 点 (避難開始地点, 避難所): 864 点
- 枝 (所要時間と容量): 2,212 枝



淀川エリア (西淀川区 + 淀川区 + 東淀川区)

- 避難者数: 49,276 名
- 容量制約あり避難所: 86 箇所 (36,549 名分)
- 容量制約なし避難所: 50 箇所
- 歩行速度: 1m/s
- 単位時間: 1秒

避難計画における設定

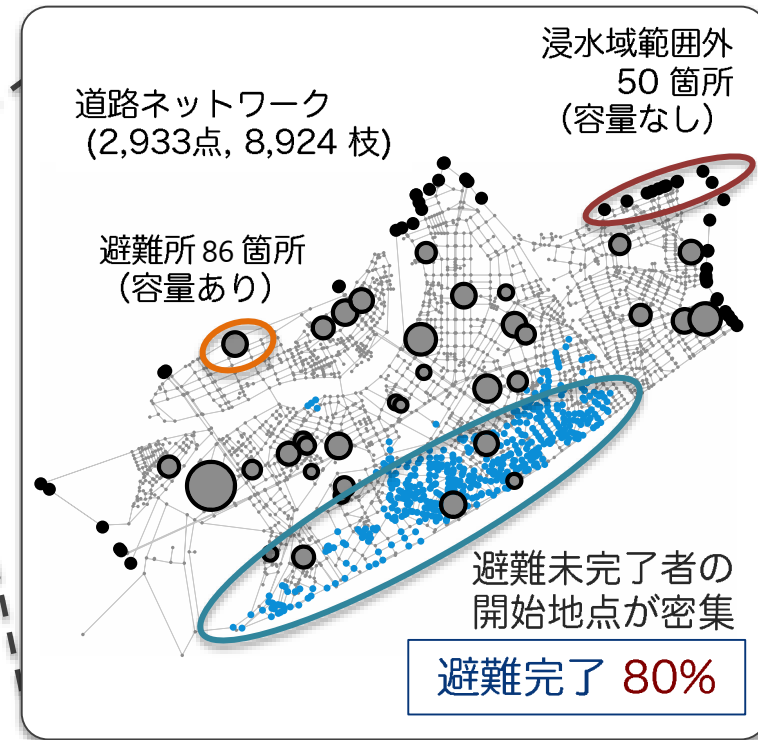
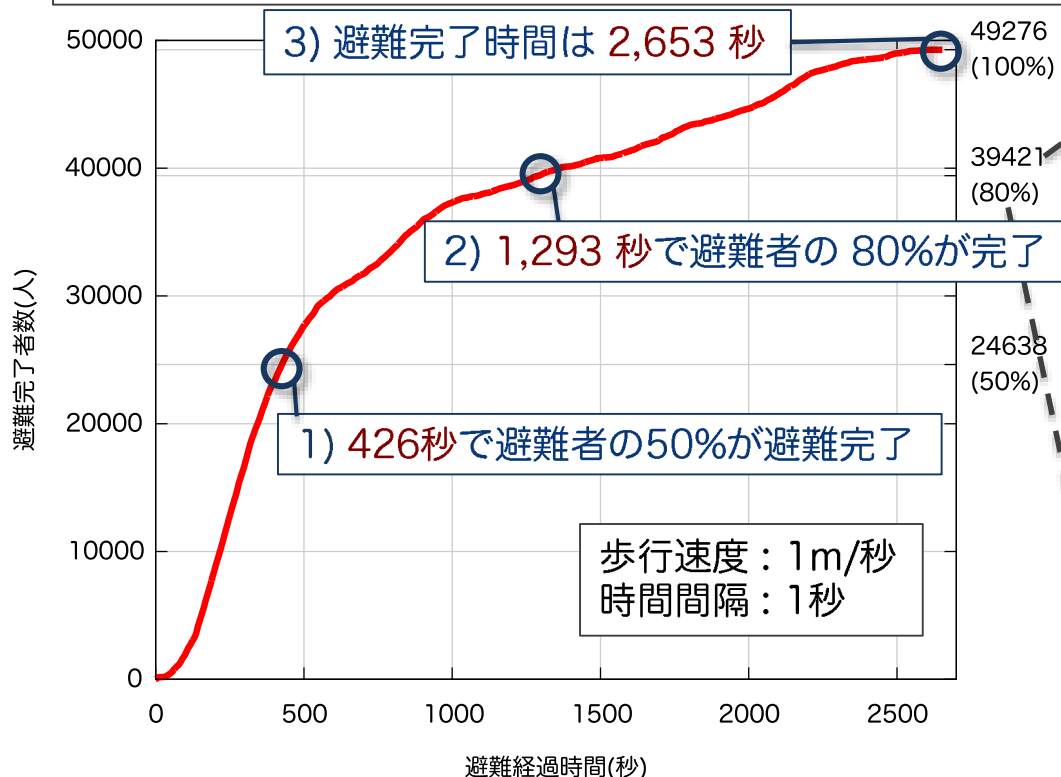


グラフサイズ

- 点 (避難開始地点, 避難所): 2,933 点
- 枝 (所要時間と容量): 8,924 枝

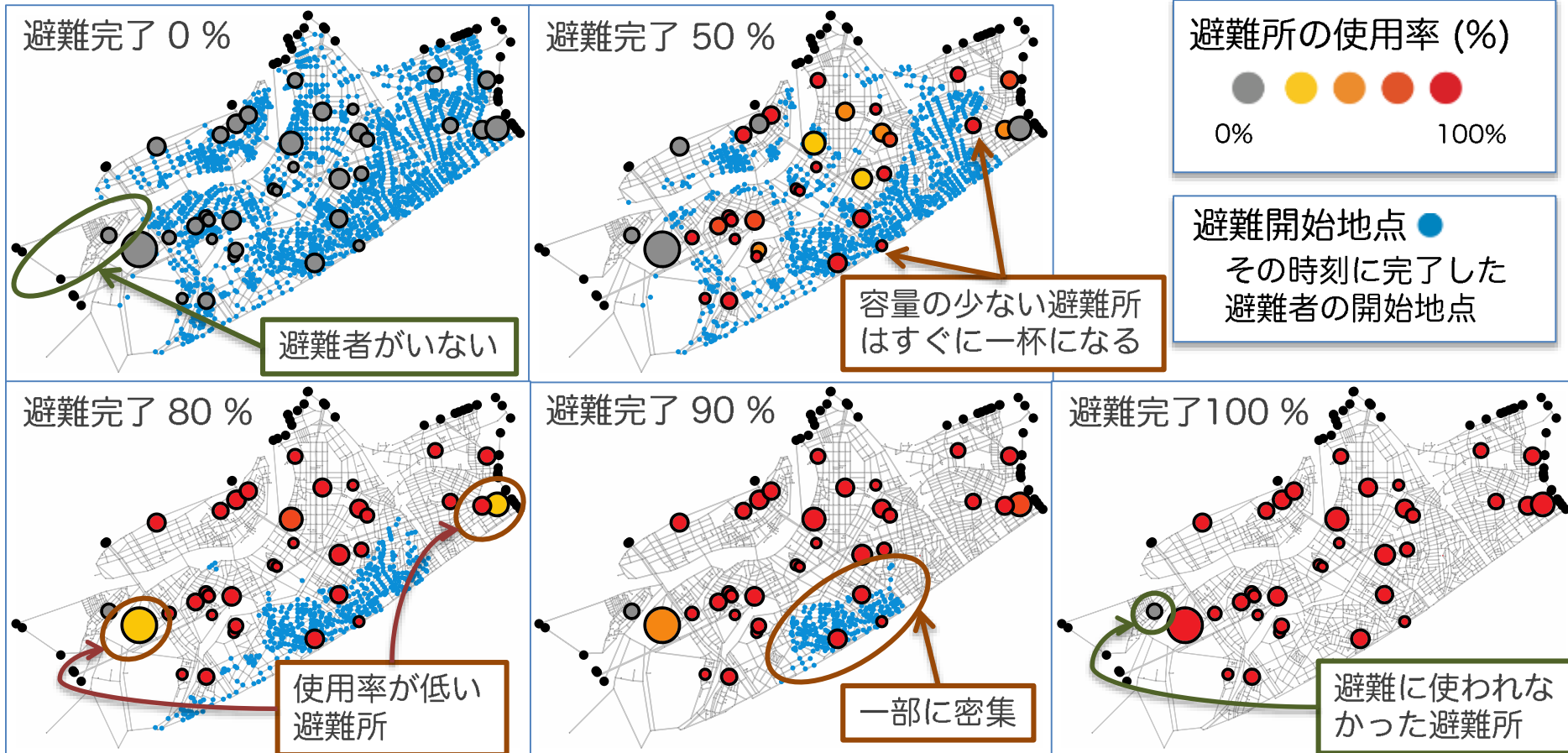
普遍的な最速流を用いた津波災害の評価

- 淀川区, 西淀川区周辺 (避難者数 49,276 人に比べ、避難所容量 36,549 人が小さい)
 1. 開始わずか避難者の 50% が避難完了
 2. 避難完了時間の半分は全体の 20% の避難者の避難に費やされる
 3. 避難時間を多く要する避難者の開始地点はある特定の地域に密集
- 計算時間：12.4 時間 (逐次計算)
 - C++ で実装し、Max-Flow 計算には Push-relabel 法の改良版を用いた
 - 2,653 回の時間拡大により、最大で 778 万点、3087 万枝の巨大グラフに



各時刻の避難所の使用率と避難開始地点

1. 避難中盤 (50%)、多くの避難所の容量は避難者で満たされる
2. 避難後半 (80%)、容量に余裕がある避難所は、容量が上位の避難所
3. 避難後半 (90%)、避難者が完了していない避難者は特定の地域に密集している
4. 避難完了時、全く使用されなかった避難所が存在 (近くに避難者がいないため)



中心性探索

アルゴリズム

重要度・重心・最短路

- グラフ化されたネットワークの中心性

応用

交通網解析、電力網解析、SNS解析、脳解析

応用例

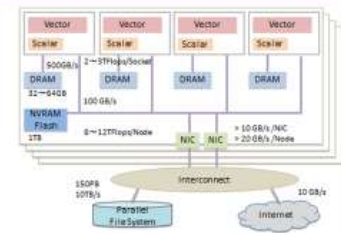
道路の重要度解析

よく使われる道路を道路網のトポロジーから計算

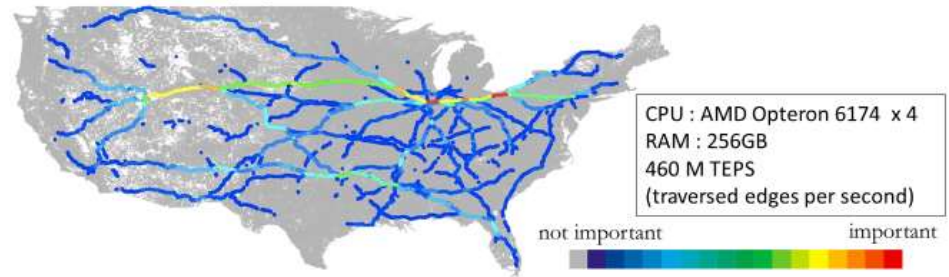
- 道路のトポロジー情報を使いグラフ化
- 全対全の経路で使用頻度の高い道路を探索
- 高頻度の道路がボトルネック
- ボトルネック解消の施策を都市計画に反映

Fast and Exact Computation of Betweenness Centrality on Post-peta-scale Supercomputer

- Exact computation → All pairs shortest paths
- Ex. USA (23,947,347 nodes, 58,333,344 edges)
 - 1 thread → over 35 days
 - 1M threads → only 3 minutes → real-time analysis
- Many applications
 - Analyzing massive social networks
 - Optimizing smart grid networks
 - Health care (disease spread)
 - Understanding complex life system



10,000 - Random Sampling 15 minutes : 48 cores



中位解析層

道路、交通網、ヒト、クルマをデータ化

ボトルネック解析、最適化計算

最適化データを実世界に展開

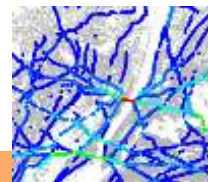


中期



ワークステーション

Mid



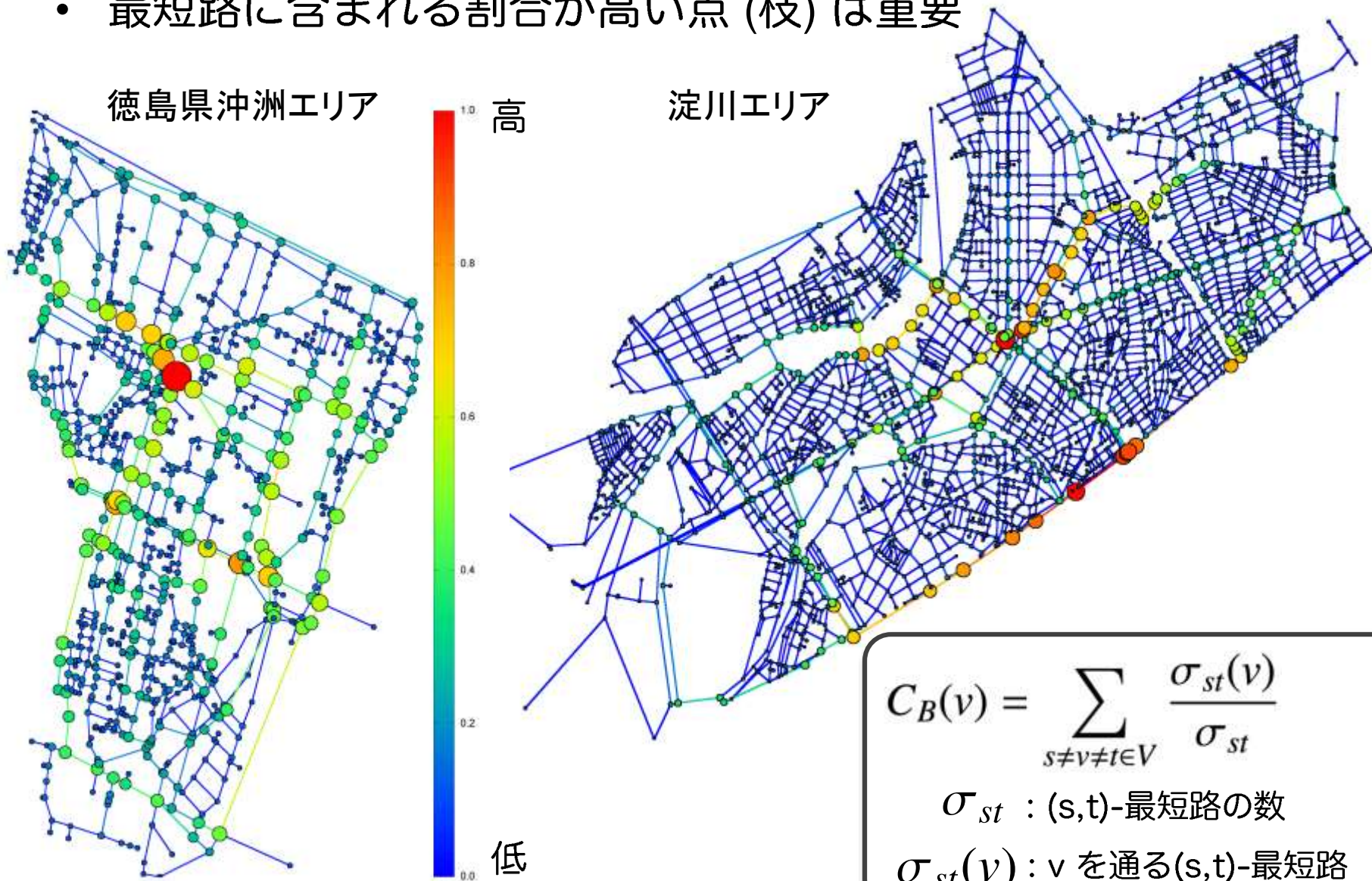
オンデマンド計算



イベントに応じた中期交通スケジュール

媒介中心性 (Betweenness centrality; BC)

- 最短路に含まれる割合が高い点 (枝) は重要



$$C_B(v) = \sum_{s \neq v \neq t \in V} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}}$$

σ_{st} : (s,t)-最短路の数

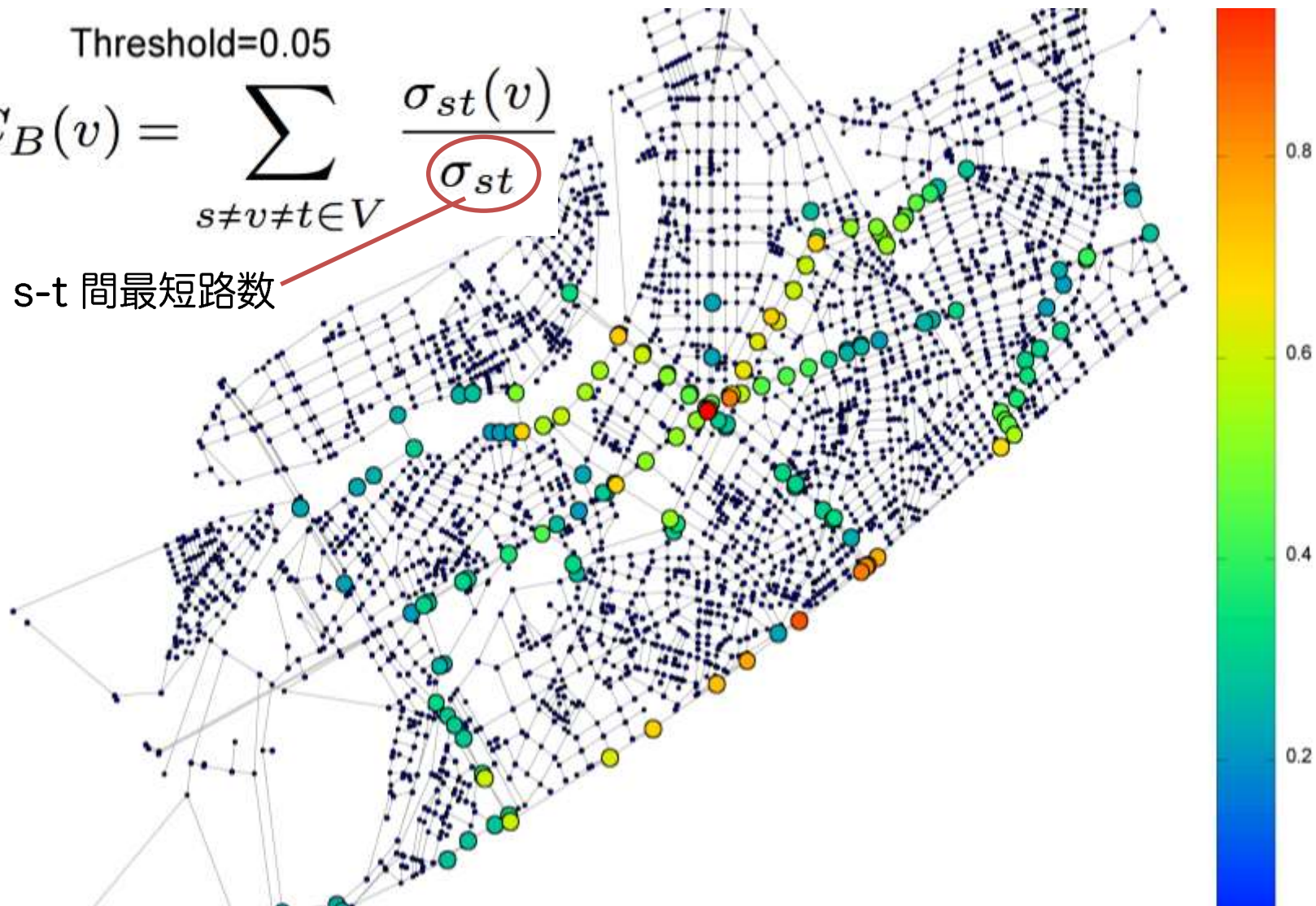
$\sigma_{st}(v)$: v を通る(s,t)-最短路
数

媒介中心性 (Betweenness centrality; BC)

Threshold=0.05

$$C_B(v) = \sum_{s \neq v \neq t \in V} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}}$$

s-t 間最短路数



Betweenness centrality of a node v is the sum of the fraction of all-pairs shortest paths that pass through v :

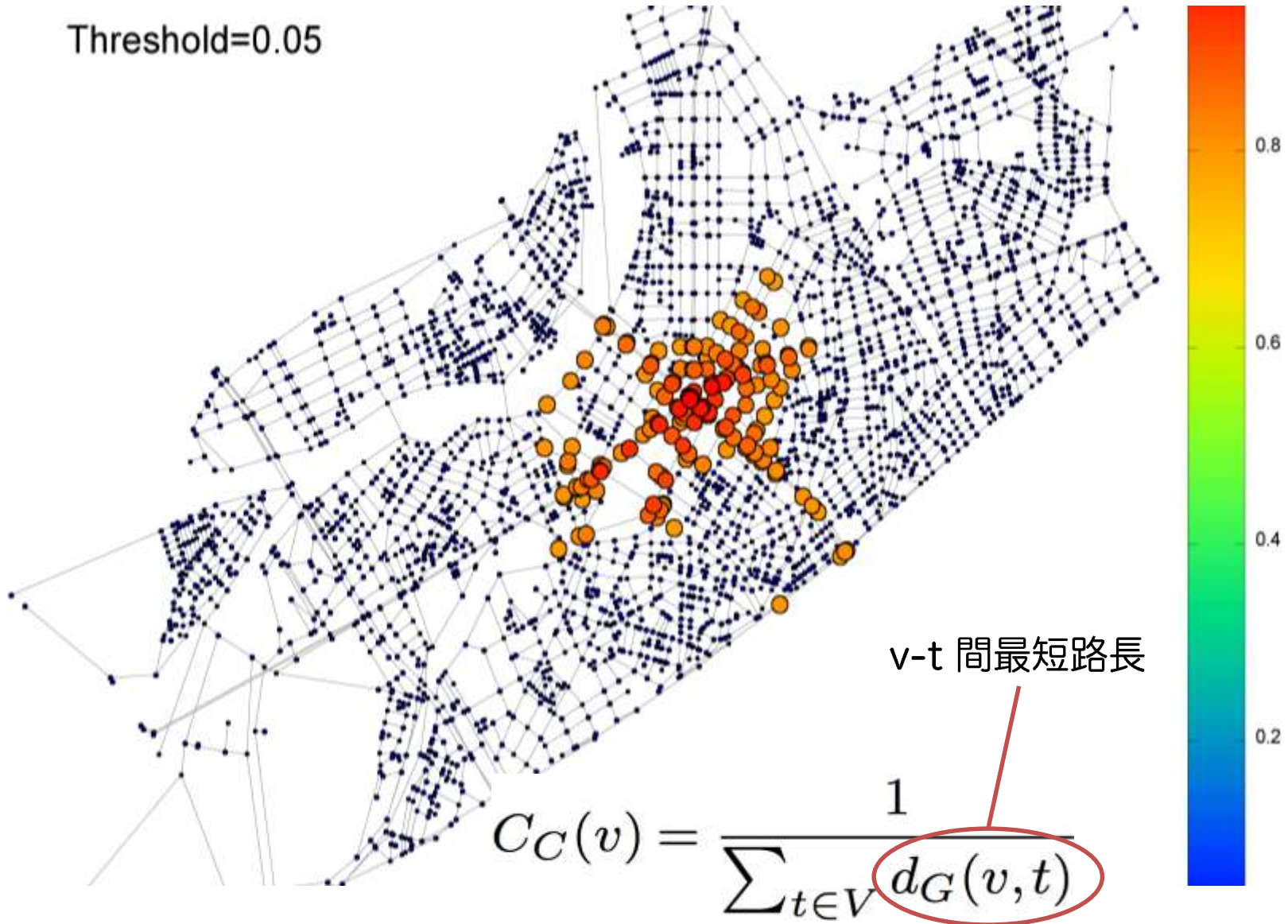
Current_flow_betweenness centrality



Current-flow betweenness centrality uses an electrical current model for information spreading in contrast to betweenness centrality which uses shortest paths.

closeness centrality

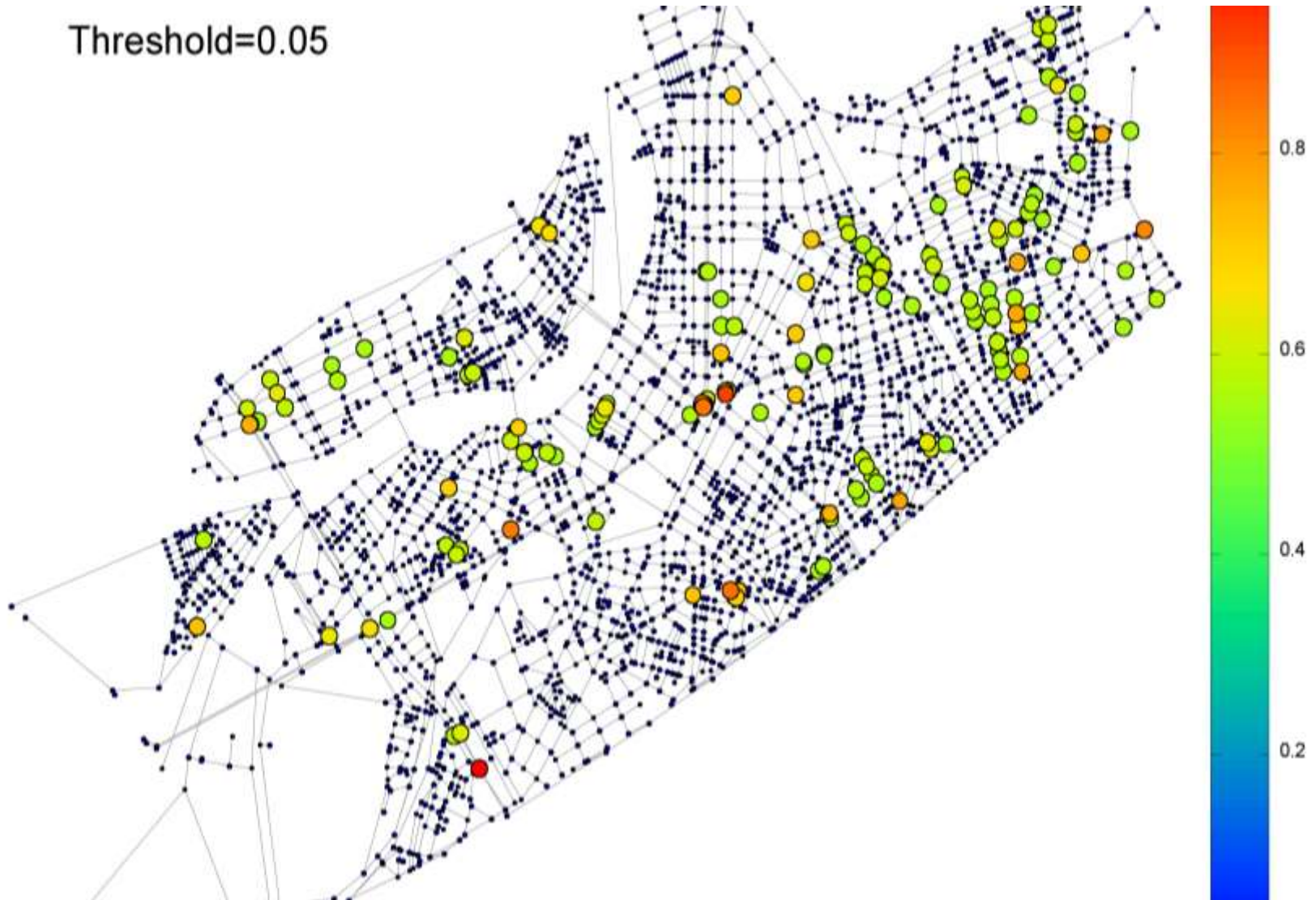
Threshold=0.05



Closeness centrality at a node is 1/average distance to all other nodes.

communicability centrality

Threshold=0.05



Communicability centrality, also called subgraph centrality, of a node n is the sum of closed walks of all lengths starting and ending at node n .

edge_betweenness centrality

Threshold=0.05



Betweenness centrality of an edge e is the sum of the fraction of all-pairs shortest paths that pass through e :

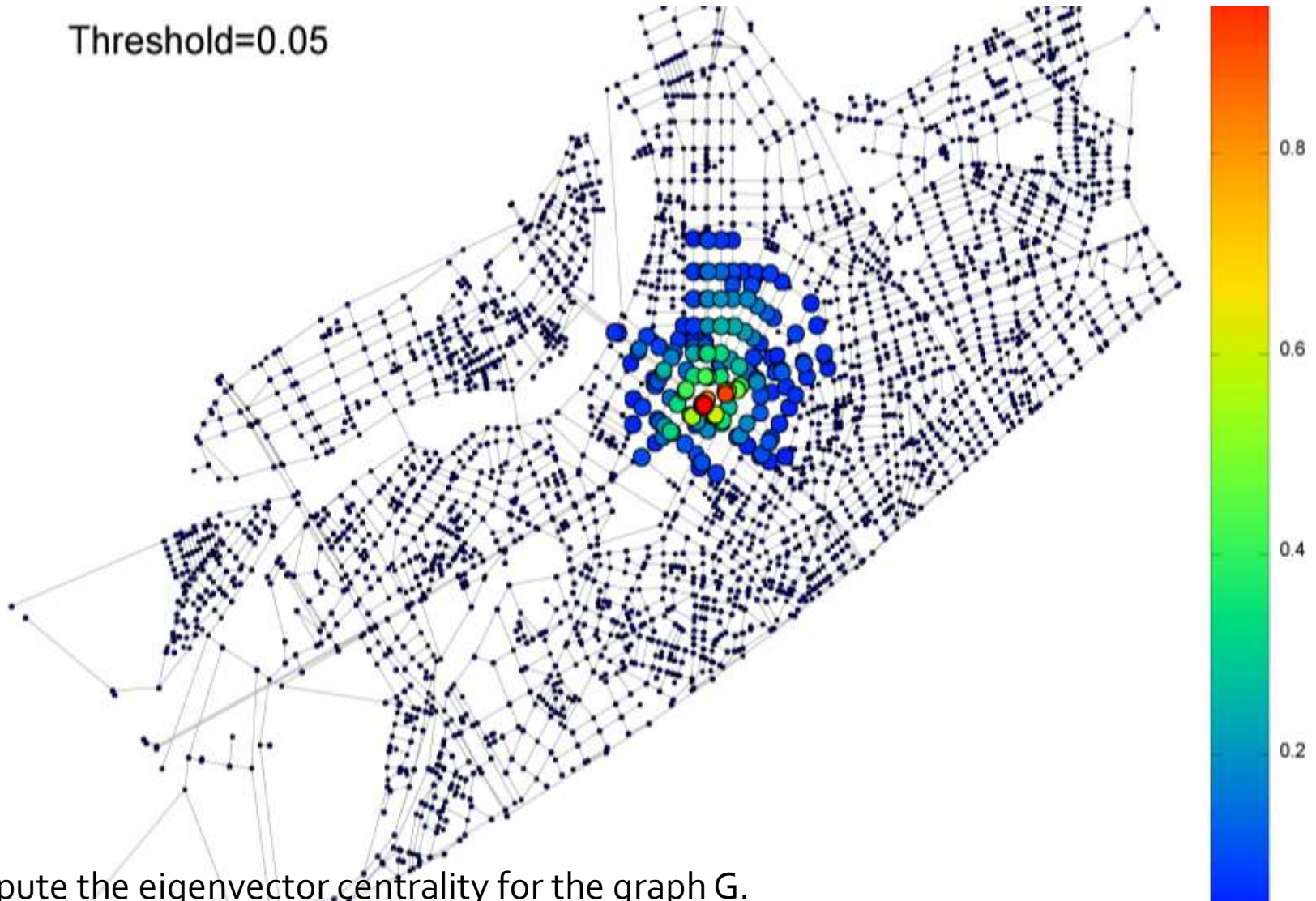
edge_load

Threshold=0.05



eigenvector centrality

Threshold=0.05

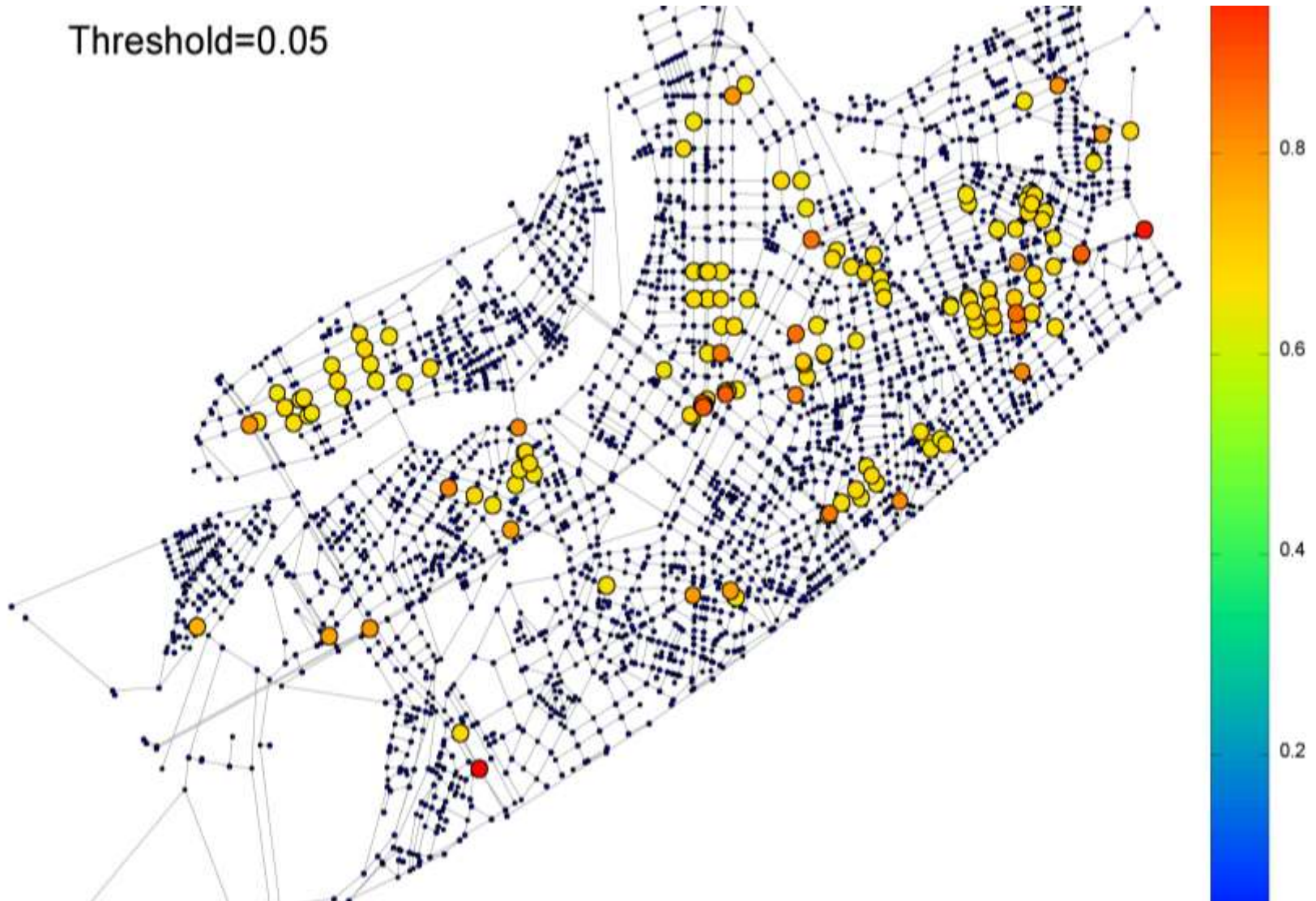


Compute the eigenvector centrality for the graph G .

Uses the power method to find the eigenvector for the largest eigenvalue of the adjacency matrix of G . (隣接行列 A の最大固有値に対する固有ベクトル)

katz centrality

Threshold=0.05



Katz centrality computes the relative influence of a node within a network by measuring the number of the immediate neighbors (first degree nodes).

pagerank

Threshold=0.05



福岡市交通ネットワーク

Betweenness centrality

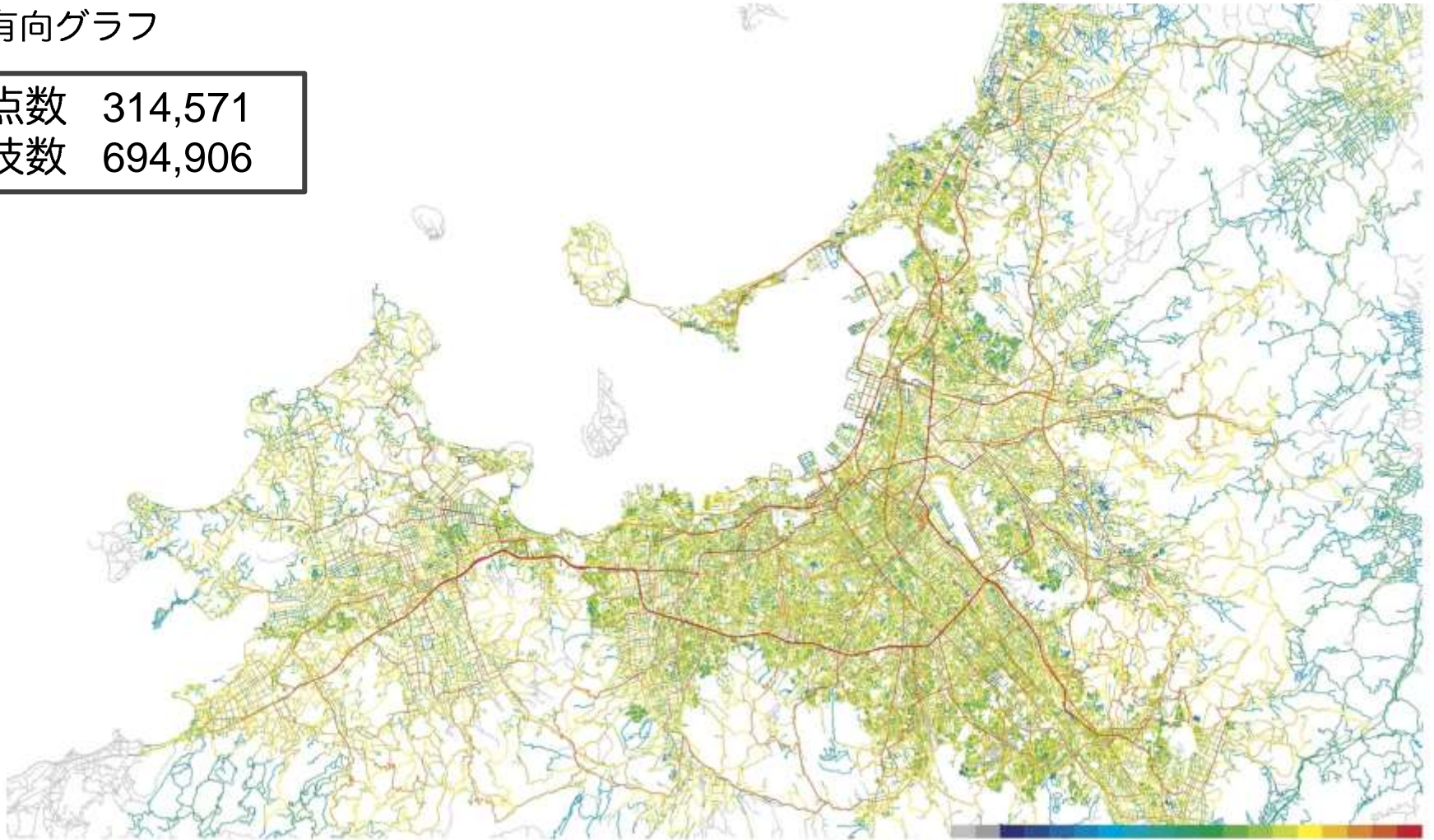
枝長を考慮しない
厳密解: 2m 30s

HP ProLiant m710
サーバーカートリッジ



有向グラフ

点数 314,571
枝数 694,906



東京都周辺交通ネットワーク

東京都周辺交通ネットワーク

Open Street Map

<https://mapzen.com/metro-extracts>

有向グラフ

点数 6,509,809

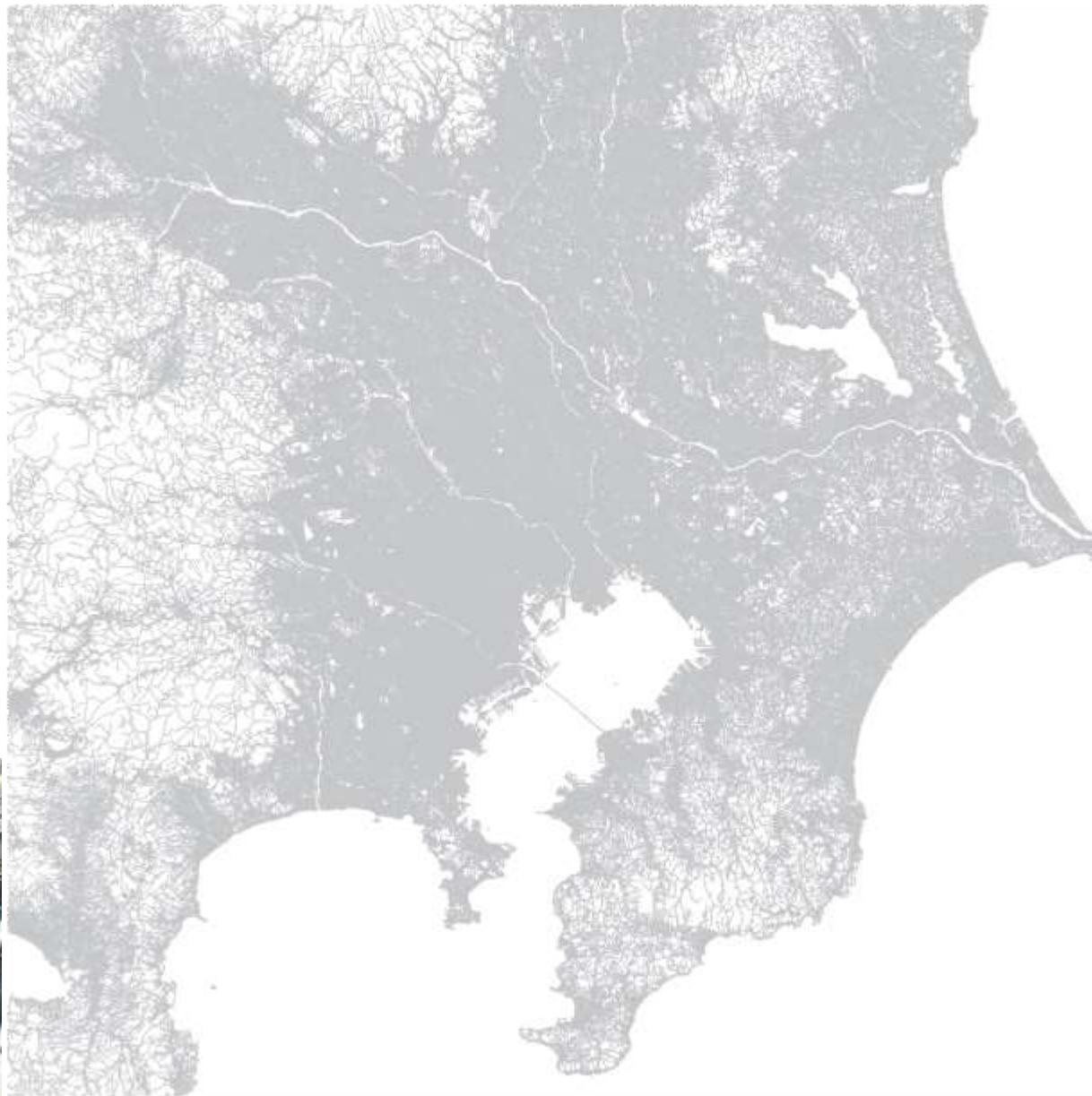
枝数 14,460,834

Huawei RH5885H V3

CPU : Intel Xeon E7-4890 x 4

Memory : 2.0TB (32GB

LRDIMM x 64 DIMMs)



Betweenness centrality

東京都周辺交通ネットワーク

Open Street Map

<https://mapzen.com/metro-extracts>

有向グラフ

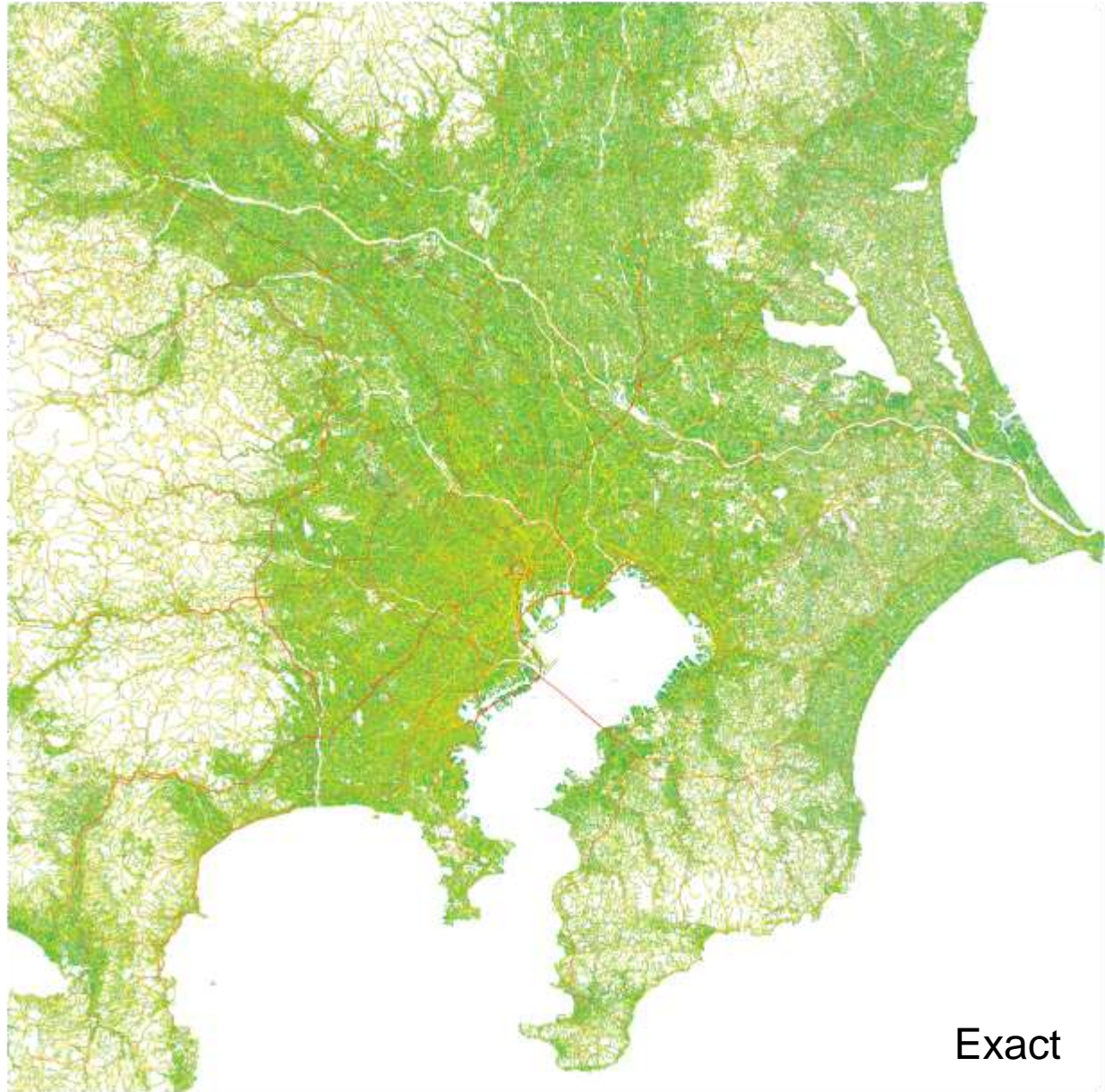
点数 6,509,809

枝数 14,460,834

Betweenness centrality

枝長を考慮しない

厳密解: 98h 27m 37s



Exact

ランダムサンプリングによる近似

東京都周辺交通ネットワーク

Open Street Map

<https://mapzen.com/metro-extracts>

有向グラフ

点数 6,509,809

枝数 14,460,834

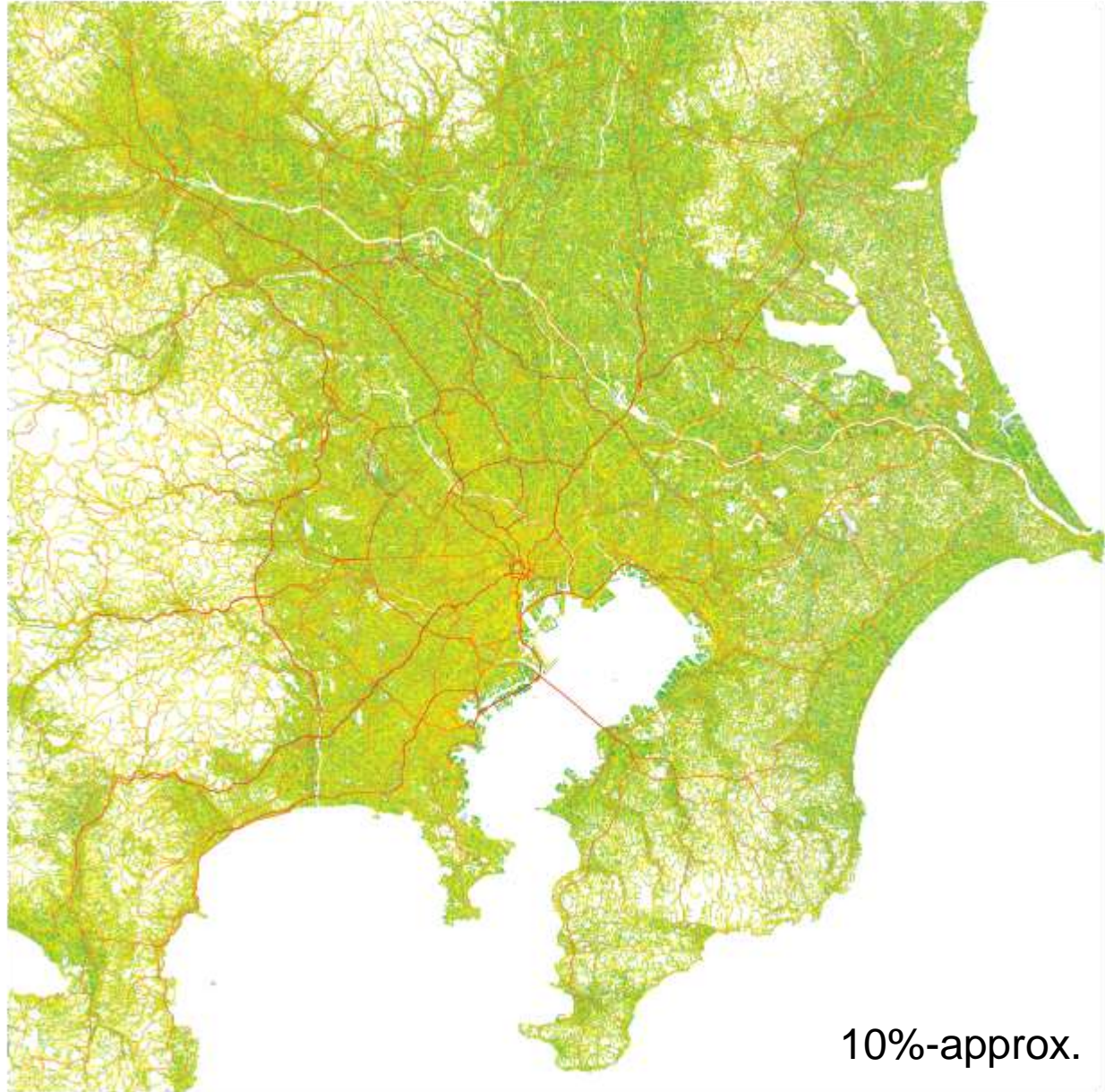
Betweenness centrality

枝長を考慮しない
厳密解: 98h 27m 37s



枝長を考慮しない
10%近似解: 9h 51m 11s

10%なら実行時間はほぼ1/10に



10%-approx.

数理計画問題

アルゴリズム

凸及び非凸整数計画問題

- 膨大な組合せ条件の中から最適解の算出

応用

施設配置問題、集合被覆（分割）問題、スケジューリング、配送計画問題などの数理最適化問題

特徴

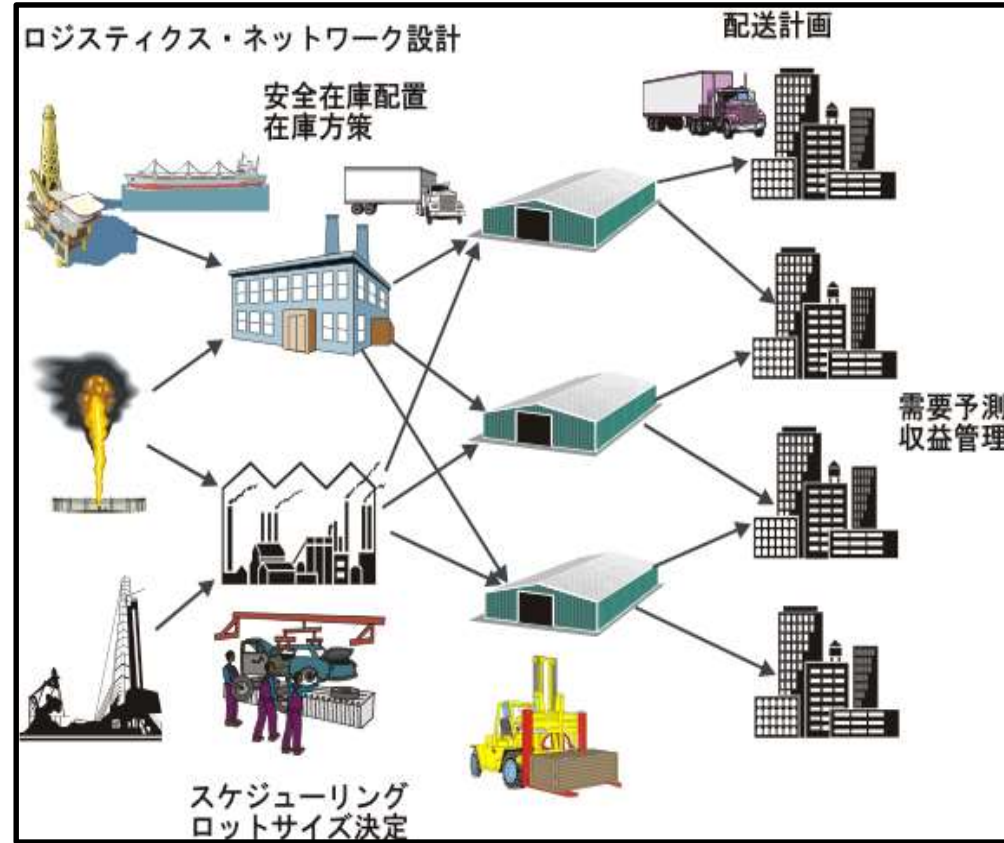
実世界



サイバー空間

実世界（この世）のデータからサイバー空間（あの世）を次世代スーパーコンピュータ上に再現（構築）。最終的には実世界（この世）の都市計画策定やネットワーク構築などに反映させる。

例：福岡市152万市民の朝から夜まで一日分のモビリティの把握及び移動&行動モデルの構築



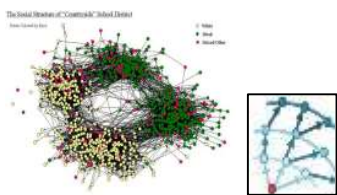
マクロ解析層

交通網、施設の分布状態をデータ化

ボトルネック解析、最適化計算

最適化データを都市計画に反映

長期



Macro

ディープ計算

最適都市計画

3. 都市最適化システム プロトタイプ

共進化社会システム創成拠点

センサーデータ	Bluetoothビーコン	Bluetoothセンサー
	屋内レーザースキャナ	ネットワークカメラ
	P-Sen	B-Sen
ヒト移動情報	キャリアデータ	
	Person Trip	交通センサスデータ
	福岡市WiFiデータ	九州フリーWiFiデータ
交通情報	鉄道ネットワーク	運行データ
	地下鉄路線	乗降数データ
	バスネットワーク	バスプローブ
	クルマプローブ	
	タクシープローブ	
地理情報 統計情報 行政情報	人口統計データ	福岡市オープンデータ
	デジタル地図データ	道路ネットワーク
		歩行者ネットワーク

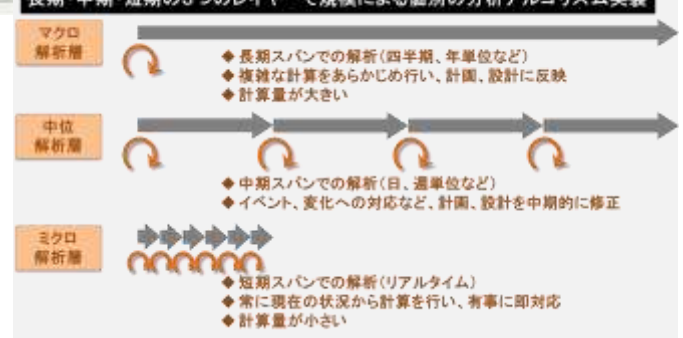
H27は学内設置センサからの取得

H27はオープンデータ、購入による取得

P-Senエリア

共進化社会システム
イノベーション施設

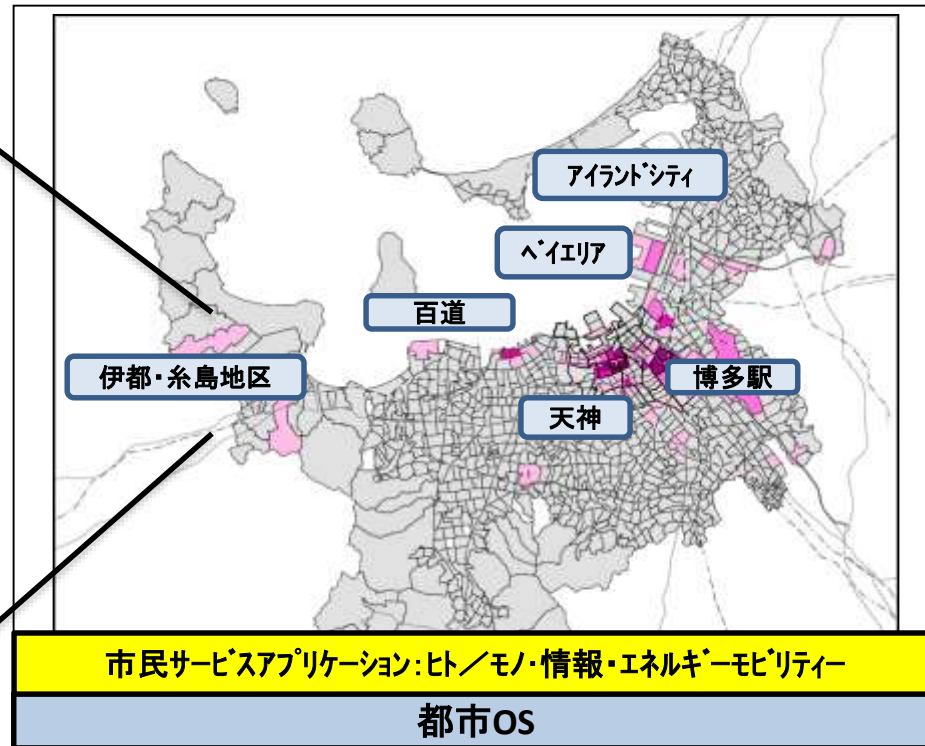
- 各種データを取得して各解析層のプロト開発
- 学内のセンシングデータを活用して解析検証



CESS 実証実験・社会実装 2020年目標

(都市OS基盤本格稼働、先端デバイス／ユニット運用、市民サービスアプリケーション運用)

◆福岡市都心部における実証実験



<福岡都心部での実装・検証項目>

- ① 「都市OS」、ビッグデータ、交通マネジメントシステムの150万都市での実運用、負荷対応力
- ② センサーよりのリアルタイムデータ収集能力、交通マネジメントシステムへのフィードバック(最適化)能力
- ③ 多様な市民への情報提供デバイス/サービス利便性(交通表示、避難誘導、移動補助、オンデマンドサービス)
- ④ 燃料電池車・水素ステーション利用検証(安全性、効率性、経済性) 広域走行、大量輸送実験による利用データ収集、蓄積

◆九大伊都キャンパスにおける実証実験



<伊都キャンパスでの実装・検証項目>

- ① ユビキタス交通情報表示システム
- ② 燃料電池ユニットの能力、耐久性、負荷実験
- ③ モビリティ用発電システム、IT技術との融合検証
- ④ エネルギーマネジメントシステムの利用検証