

# スパコンで目指す理想の社会

理研AICS・離散事象シミュレーション研究チーム  
伊藤伸泰

起 理想と現実  
承 社会の数理  
転 シミュレーション  
結 京・ポスト京、その後

理研AICS・DESRT 浅野優太・今井哲郎・稲岡創・村瀬洋・内種岳詞・Shih-Chieh Wang

東大物工伊藤研 青木尚登・大石晃司・島田尚氏・南雲将・平岡喬之・吉岡直樹

CREST ポスト京 CASSIAチーム

産総研 野田五十樹・山下倫央・松島裕康・渡辺隼史・落合純一・辻順平

東大シス創 和泉潔・藤井秀樹・山田健太・鳥居拓馬・水田孝信・川久保佐記

立命館大 服部宏充・小川祐樹

東邦大 中島悠

日本IBM 吉濱佐知子・水田秀行・鈴木豊太郎・恐神貴行・森村哲郎・Rudy Raymond Harry

前田久美子・勝木孝行・渡辺日出雄・井手剛・村田浩樹・Kugamoorthy Gajananan

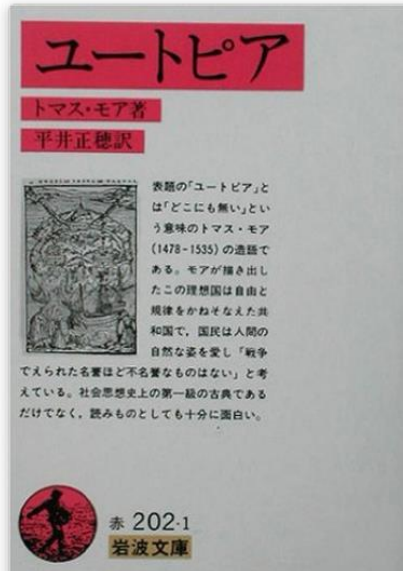
神戸大 鎌田 十三郎・仙波雅也・熊谷良夫・中原勇輝・畑谷卓哉

国際協力 Chin-Kun Hu(台北) Eugene Stanley(ボストン) Kimmo Kaski(ヘルシンキ)

Janos Kertesz(ブダペスト) Hang-Hyun Jo(浦項)

# 起 理想と現実

理想郷： 現状の問題点を共有するための作業仮説



ユートピア (岩波文庫 赤202-1) 文庫 -  
1957/10/7

トマス・モア ▾ (著), 平井正穂 (翻訳)

★★★★☆ ▾ 13件のカスタマーレビュー

▶ すべての3フォーマットおよびエディションを表示する

文庫

¥ 756 **プライム**

¥ 89 より 40 中古品の出品

¥ 756 より 1 新品

¥ 500 より 4 コレクター商品の出品

<http://www.amazon.co.jp> より



トマス・モア(英国)

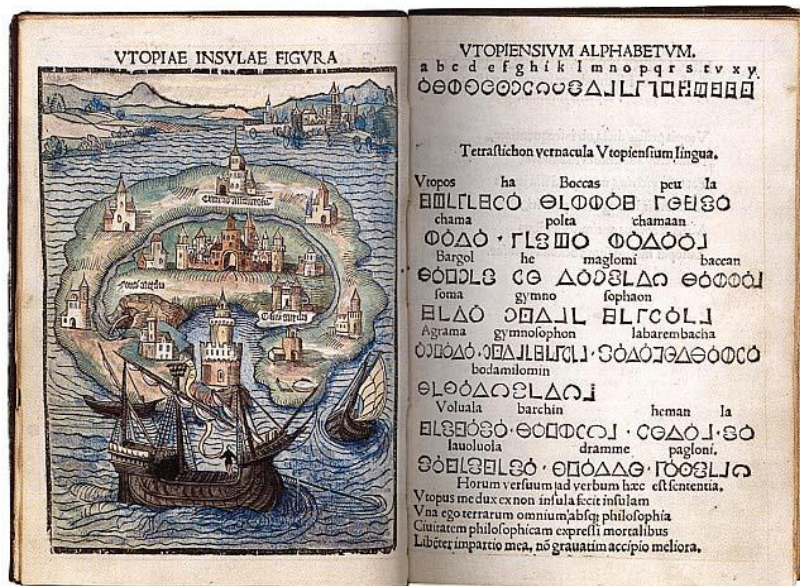
1478年2月7日生

1535年7月6日没

→ 人権  
フランス革命・アメリカ独立  
アダムスミス  
産業革命・重商主義  
資本主義・自由経済  
共産主義・社会主義 etc

現実の社会：うまい運用が肝要

しかし世界は複雑化しつつける





# 承 社会の数理

社会はとても複雑

社会現象の計算機による扱いに向けて

「風が吹けば桶屋がもうかる」型の複雑な因果のからまり

と 気まぐれ・偶然・事故・災害などのゆらぎ とが織りなす多様性



=

物理現象

太陽系の運動

気候

地震・津波・火山噴火

など

+

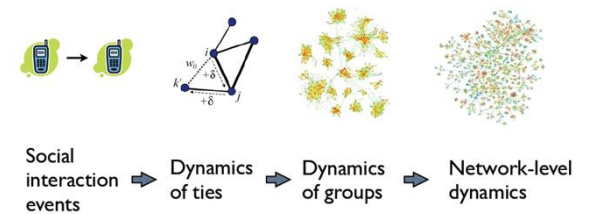
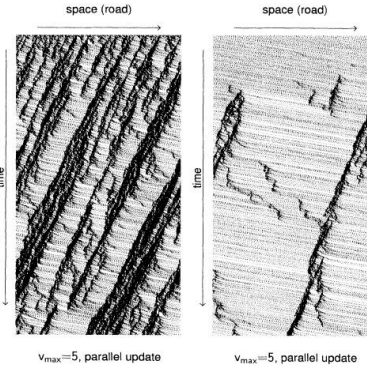
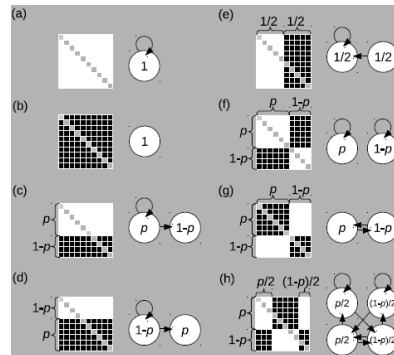
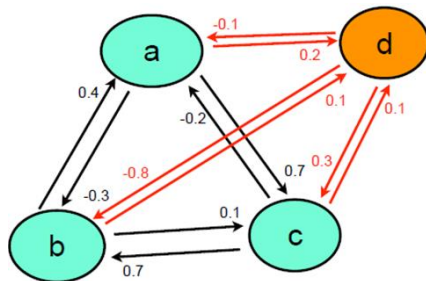
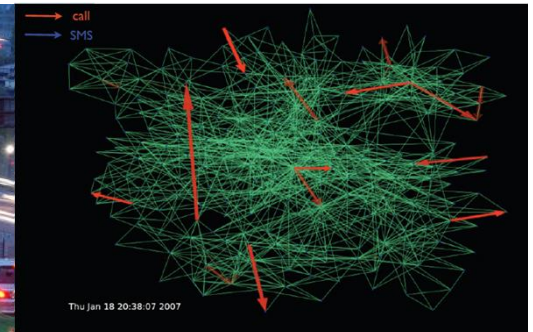
社会現象

移動

経済

人間関係

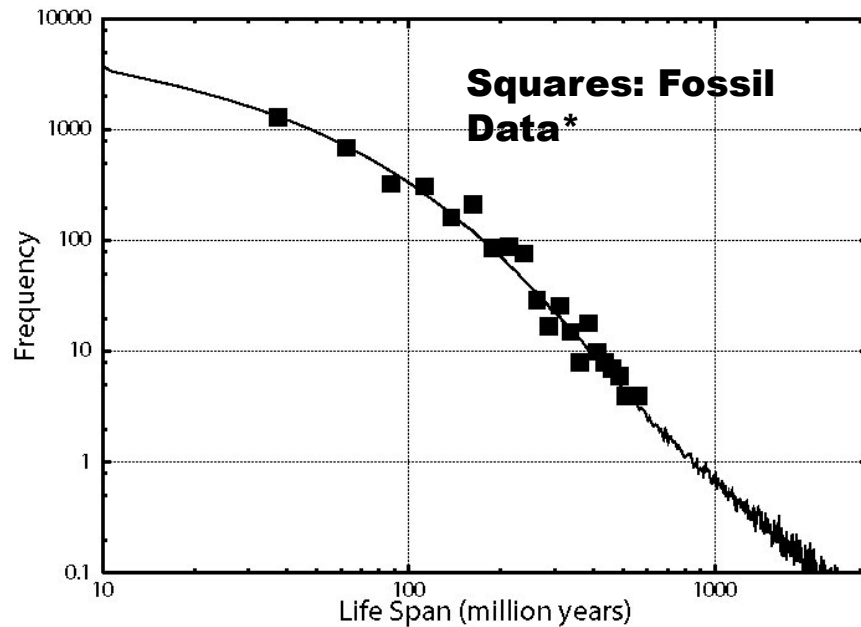
70億人の活動



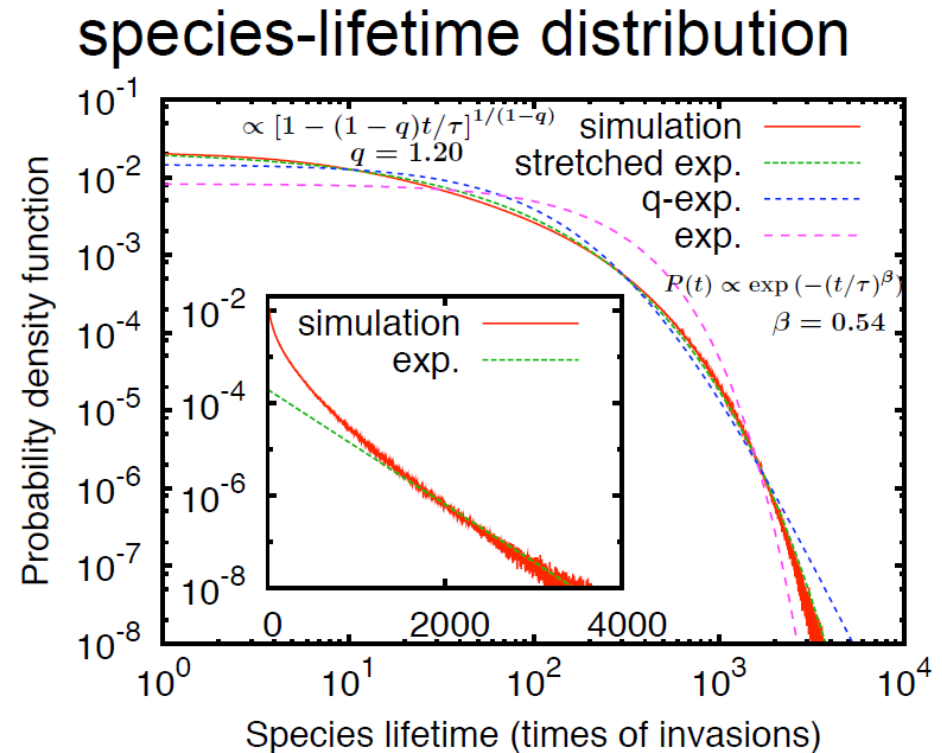




# Life-time distribution



**Line: Size-Free Model**



\*Estimated from “The Fossil Record Vol. 2”

T. Shimada, S. Yukawa and N. Ito, Intern. J. Mod. Phys. C vol.14, No. 9 (2003).

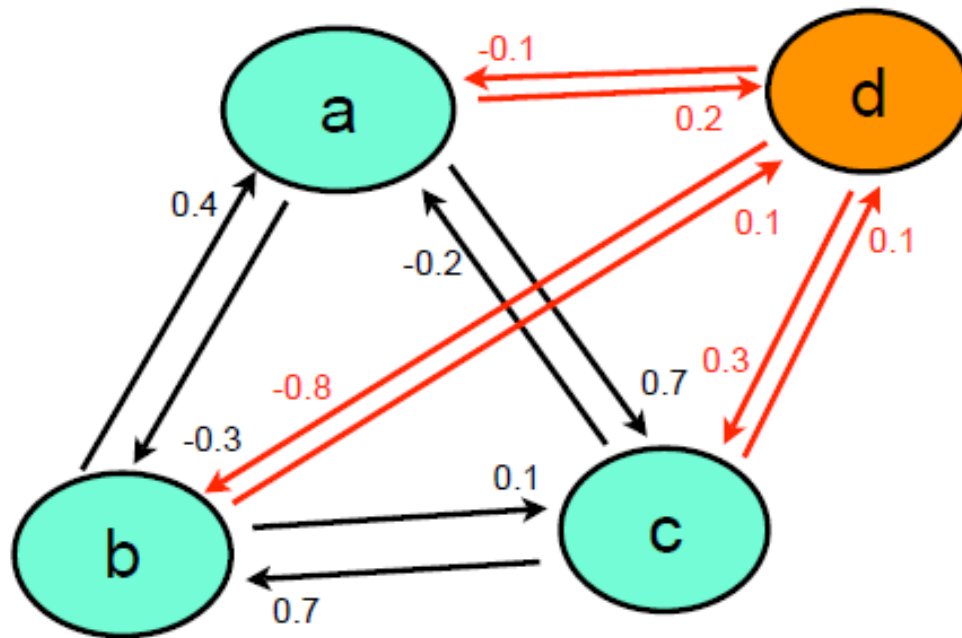
Y. Murase, T. Shimada and N. Ito, New J. Phys. vol.12 (2010) 063021



# dynamical graph model

## An Ising model of ecoevolution

- Species takes two states: extinct or alive. (Ising like)
- Interspecies interaction  $a_{ij}$ .
- If  $\sum a_{ij} \geq 0$ , species  $i$  can survive. ( $\sum a_{ij}$  = fitness of  $i$ 'th species:  $f_i$ )
- $a_{ij}$  takes a random number drawn from a Gaussian distribution with probability  $c$ . (With  $1-c$ ,  $a_{ij}$  is zero.)

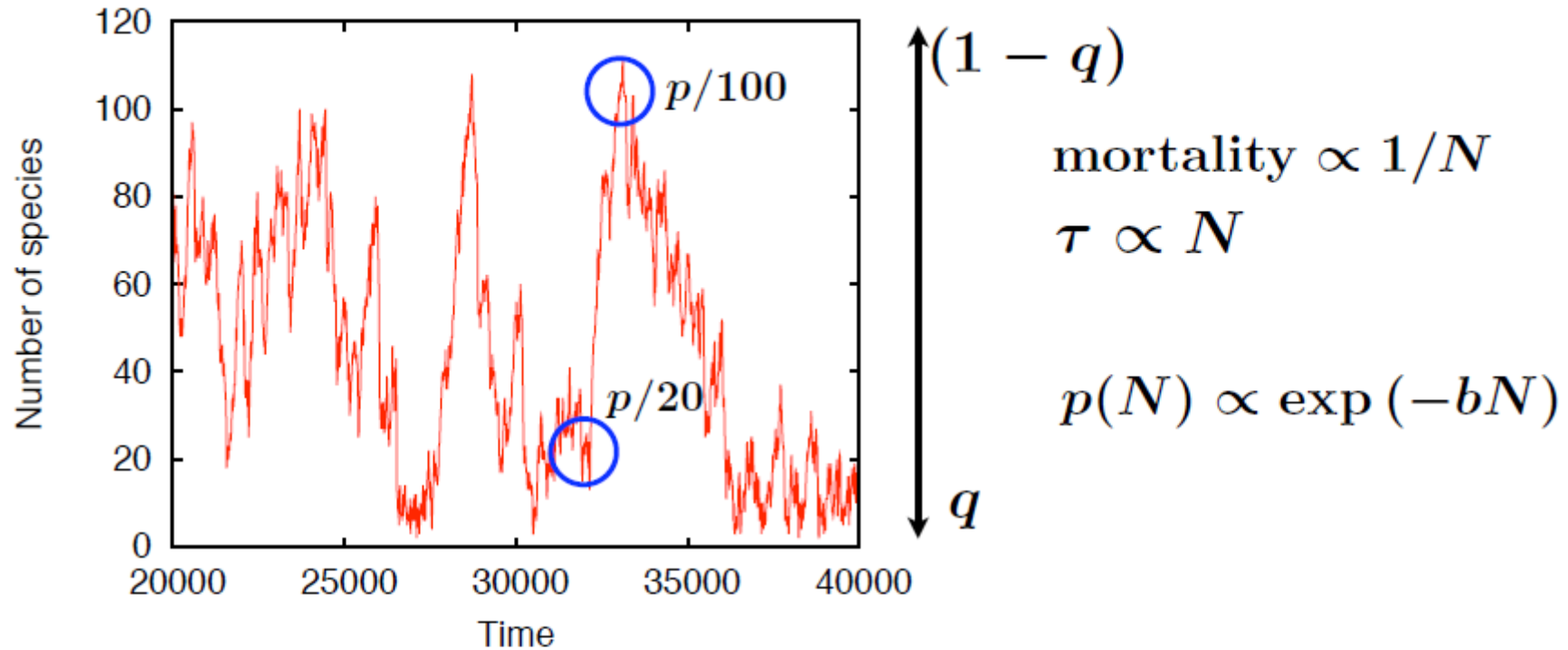


```
loop over generation  $t$  {  
  add a new species (invasion)  
  loop until no  $f_i$  is negative {  
    remove the species whose  
    fitness is the minimum  
  }  
}
```

- **avalanches of extinctions may happen**

# hypothesis 2

assumption : random walk in  $N$  space + “Red-Queen” hypothesis



$$p(t) = \int_0^{\infty} \frac{\exp(-t/\tau)}{\tau} b \exp(-b\tau) d\tau$$

$$= 2bK_0(2\sqrt{bt})$$

$$\approx \sqrt{\pi}(bt)^{-1/4} \exp(-2\sqrt{bt}) \quad (t \gg 1)$$

stretched exponential

**modified Red-Queen hypothesis**

# other empirical data

## the distribution of product life-cycle in convenience stores

(am/pm Japan Co. Ltd. 2004 ~ 2007)

T. Mizuno and M. Takayasu, Progr. Theor. Phys. Suppl., 179, 71 (2009)



Y. Murase, T. Shimada and N. Ito,  
New J. Phys. 12 (2010) 063021

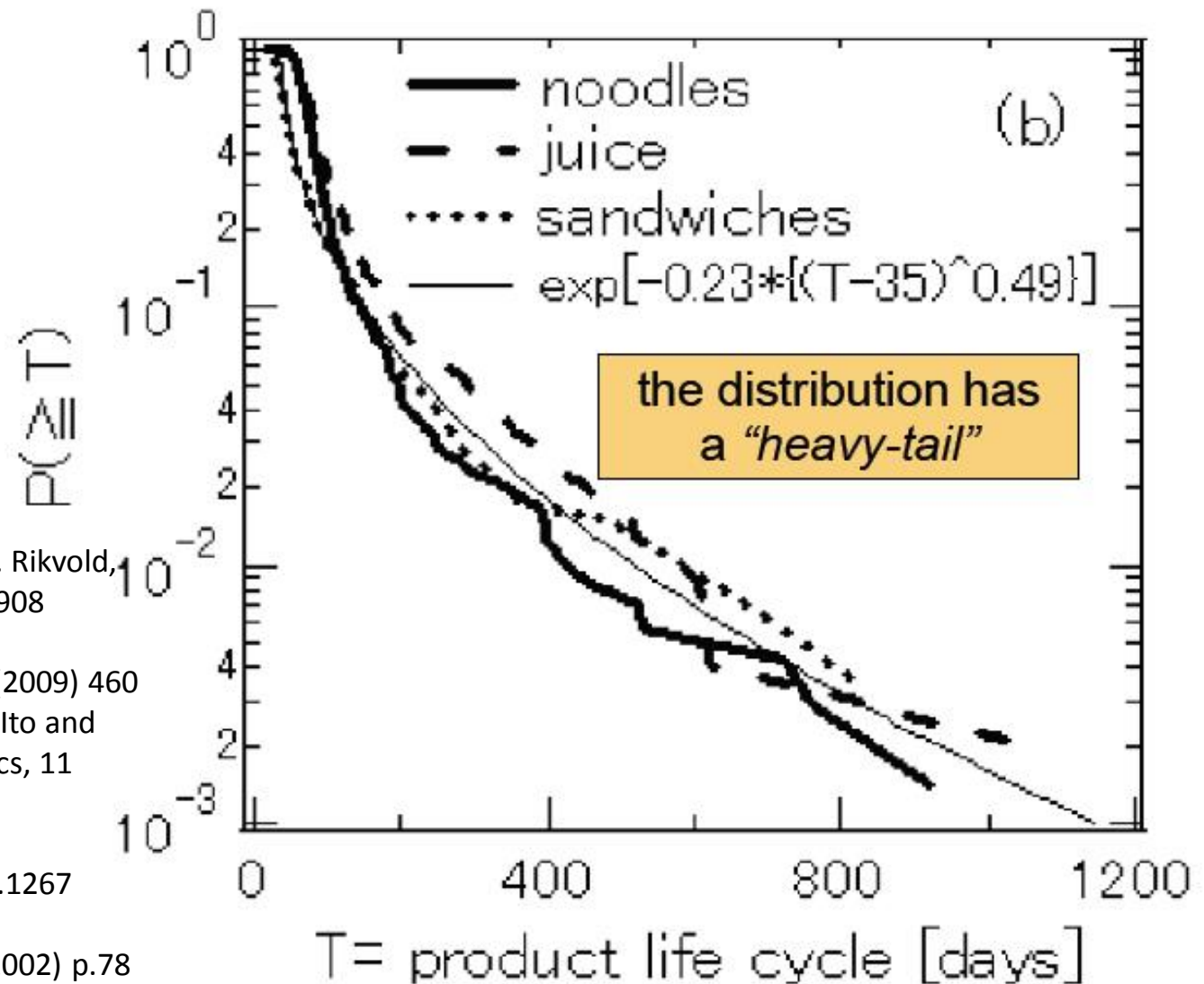
Y. Murase, T. Shimada, N. Ito and P. A. Rikvold,  
Phys. Rev. E vol.81 (2010) 041908

Y. Murase, T. Shimada and N. Ito,  
Artificial Life and Robotics, vol.13 (2009) 460

T. Shimada, Y. Murase, S. Yukawa, N. Ito and  
K. Aihara, Artificial Life and Robotics, 11  
(2007) p.153

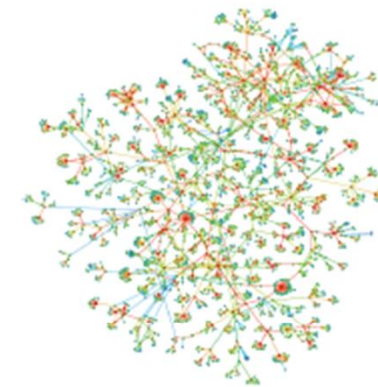
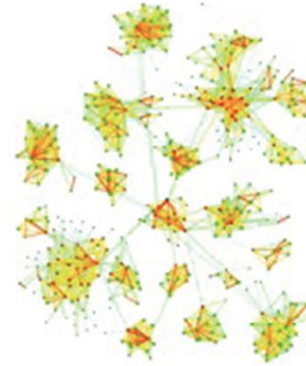
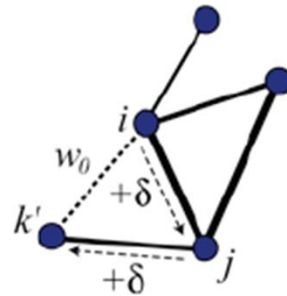
T. Shimada, S. Yukawa and N. Ito,  
Intern. J. Mod. Phys. C14 (2003) p.1267

T. Shimada, S. Yukawa and N. Ito,  
Artificial Life and Robotics, vol.6 (2002) p.78





# Time scales in social Networks



Social  
interaction  
events



Dynamics  
of ties



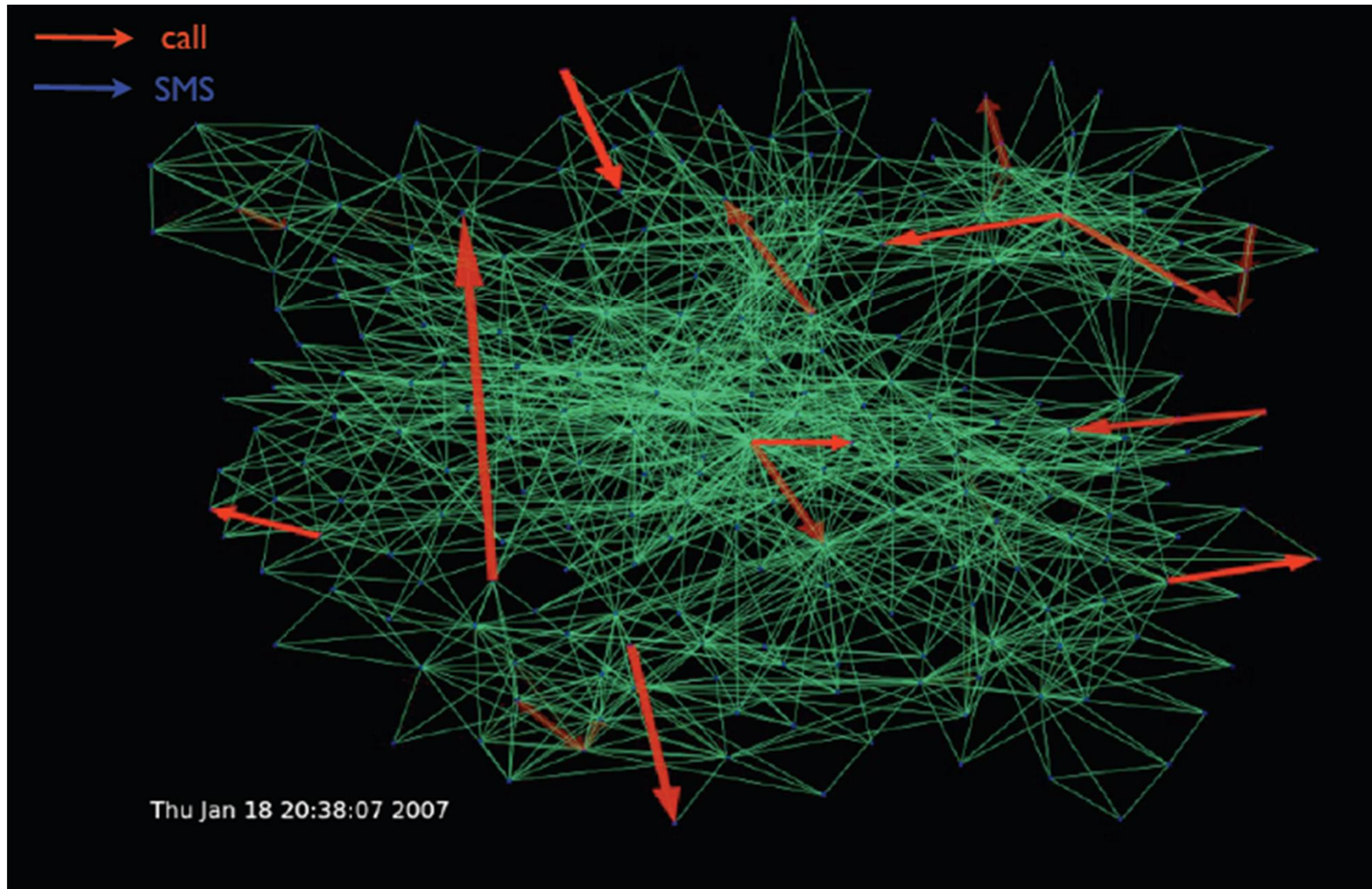
Dynamics  
of groups



Network-level  
dynamics

How does the microscopic translate to macroscopic?

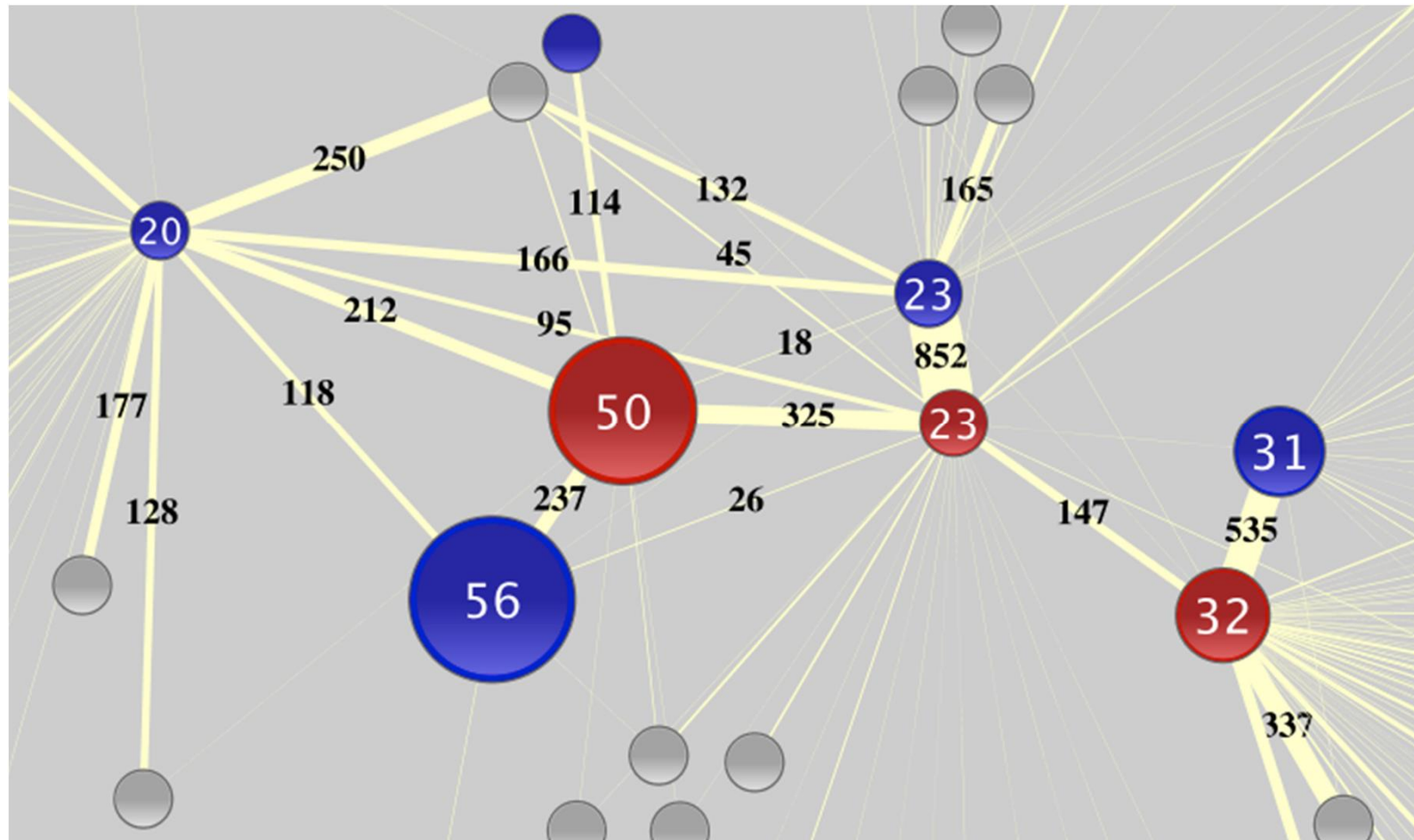
# Event Time Scales: calls & text messages in a Social Group



K. Kaski, private communication.



## social modelling: graph(network) dynamics and dynamics on graph an example - mobile phone communication



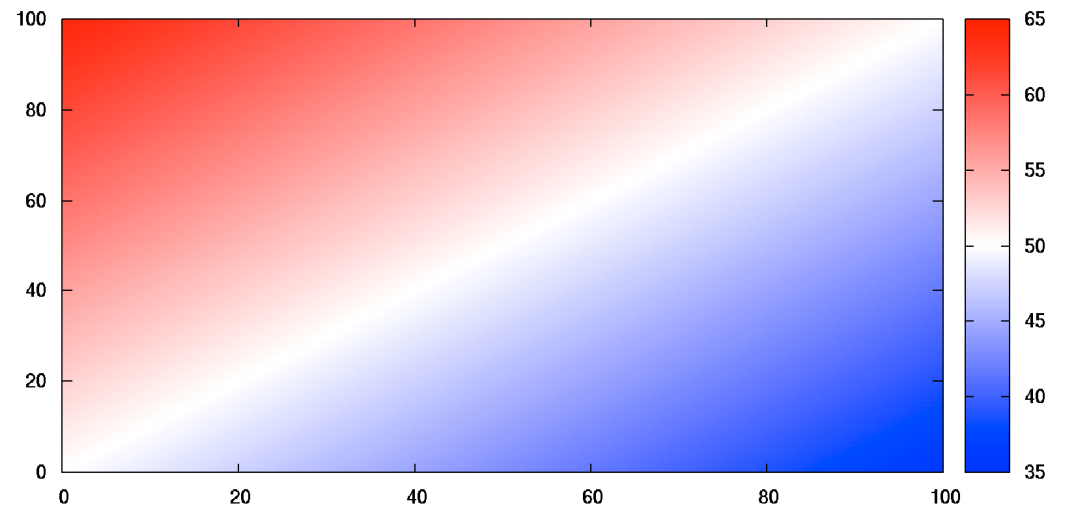
Vasyl Palchykov, Kimmo Kaski, Janos Kertesz, Albert-Laszlo Baraba, Robin I.M.Dunbar, "Sex differences in intimate relationships", Scientific Report vol.2 (2012) p.370.

# 転 シミュレーション

社会現象の計算機による扱いに向けて

例1 神戸市の自動車交通シミュレーション

例2 株式取引所の競合シミュレーション



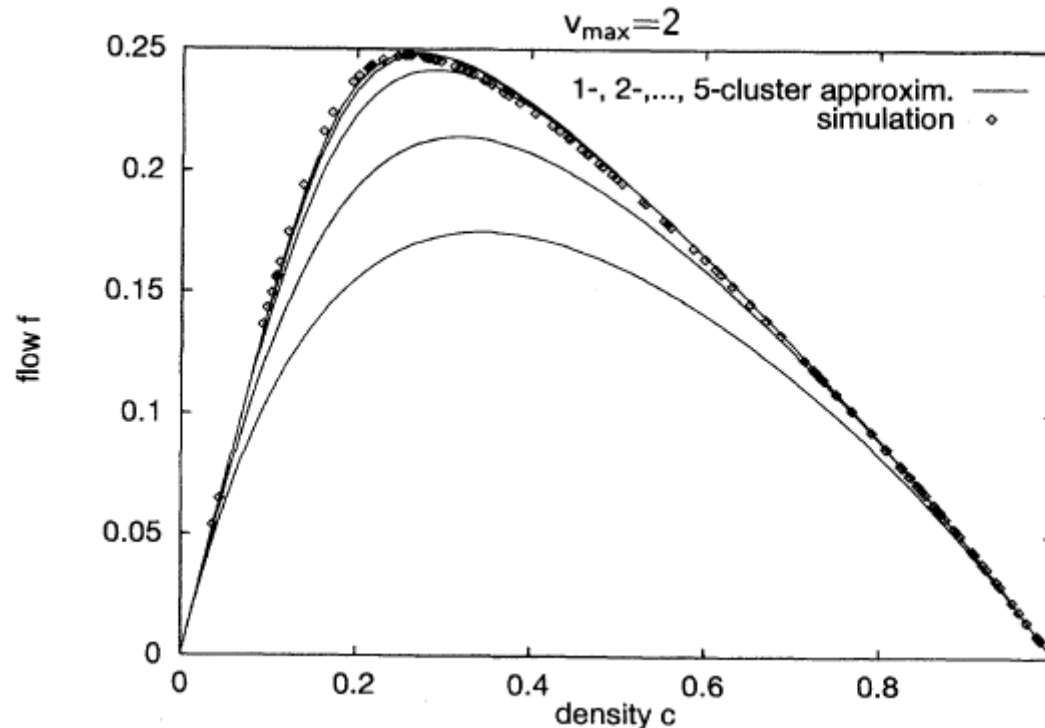


# 複雑現象の離散モデルによるシミュレーション 交通流

**Big success  
of dynamical treatment of cars,  
or other sociological phenomena  
using agent type models.**



- (1) Acceleration than  $v_{\max}$ , the speed
- (2) Slowing down to the next car as speed is reduced to
- (3) Randomization of a vehicle (if greater than  $v = v - 1$ ).
- (4) Car motion.



=5, parallel update

Huberman,  
Schneider,  
and N. Ito,  
Physica A 215 (1995)  
1999

# Car traffic simulation of Kobe

Using “Simulation of Urban Mobility”  
(SUMO)

D. Krajzewics, J. Erdmann, M. Behrisch and  
L. Bieker, Intern. J. Advances in Systems  
and Measurements vol.5 (20012) 128-138.

Trip set is generated by  
ACTIVITYGEN, a SUMO application,  
from mobile phone distribution from  
NTT Docomo.

**Totally 10000 cars**

**0 – 2hour: from homes to offices**

**5hour – from offices to homes**

Y. Asano, N. Ito, H. Inaoka, Y. Murase, T. Imai,  
and T. Uchitane, "Traffic Simulation of Kobe-  
city", to appear in proceeding of “Social  
Modeling and Simulation + Econophysics  
Colloquim 2014”, (Kobe, Japan, Nov. 2014)





## Kobe city

100,000 cars a day  
 70,000 just passes  
 from/to East/West  
 30,000 local

simulation parameters

Highway: 100 Km/h

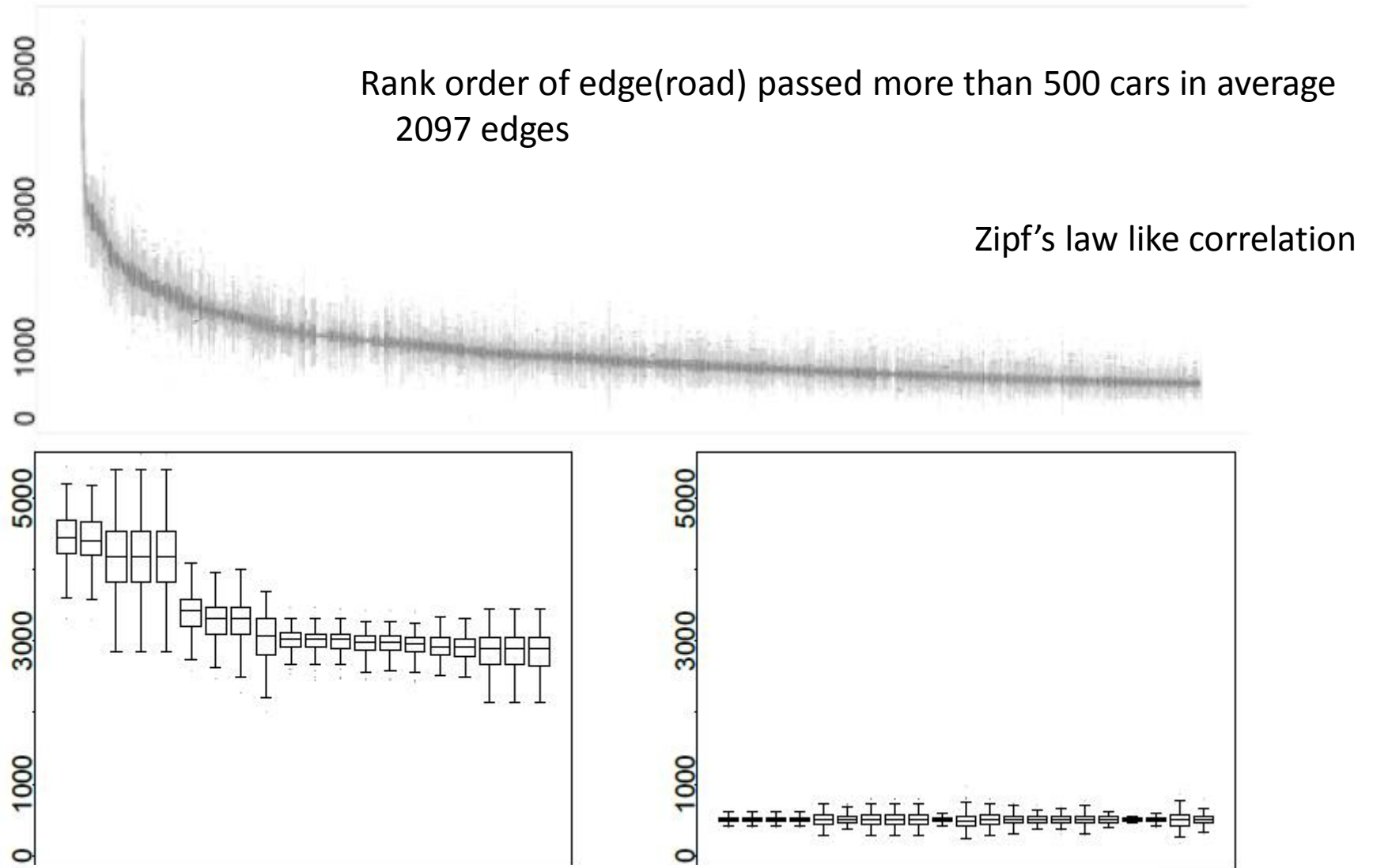
National Road: 60 Km/h

Local Road: 30 Km/h

area	x range(m)	y range(m)
all	[0.00, 11469.73]	[0.00, 9308.76]
area1	[9385.50, 11469.80]	[1659.30, 6722.00]
area2	[7332.80, 9385.50]	[2785.35, 9308.80]
area3	[5264.30, 7332.80]	[4055.20, 9308.80]
area4	[1387.10, 5264.30]	[6188.00, 9308.80]
area5	[0.00, 4900.50]	[0.00, 5557.70]
area6	[0.00, 1387.10]	[5557.70, 9308.80]

		Departure					
		area1	area2	area3	area4	area5	area6
Arrive	area1	250	250	250	<b>8750</b>	250	250
	area2	250	250	250	250	250	250
	area3	250	250	250	250	250	250
	area4	<b>8750</b>	250	250	250	250	250
	area5	250	250	250	250	<u>250</u>	<u>250</u>
	area6	250	250	250	250	<u>250</u>	<u>250</u>

**Table 2** 6 時間あたりの自動車発生台数と発生 area



**Fig. 3** 自動車通過台数の箱ひげ図: 平均通過台数が 500 台以上の道 2097 本 (上), 平均通過台数の上位 10 (左下), 平均通過台数の第 2088 位から第 2097 位の 10 本 (右下)

No.	属性	方向	area
1	高速, 国道, 県道	東	area1,2,3,4 全域
2	高速, 県道	西	area1,2,3,4 北部
21	高速, 国道	西	area2,3 中部
3	国道, 県道	東	area4 北部
7	高速, 国道	東	area3,4 北部
6	市道	東	area4 北中部
5	国道, 県道	西	area1,2 北部
10	県道	西	area3,4 北部
4	市道	西	area3,4 北部
8	市道	西	area4 中部
15	高速, 県道	東	area1,2 中南部
9	市道	東	area4 北部
11	県道, 市道	東	area2 北部
24	高速, 国道	西	area2 南部
14	高速	東	area2 南部
32	県道	東	area2,3 中部
18	市道	東	area4 北部

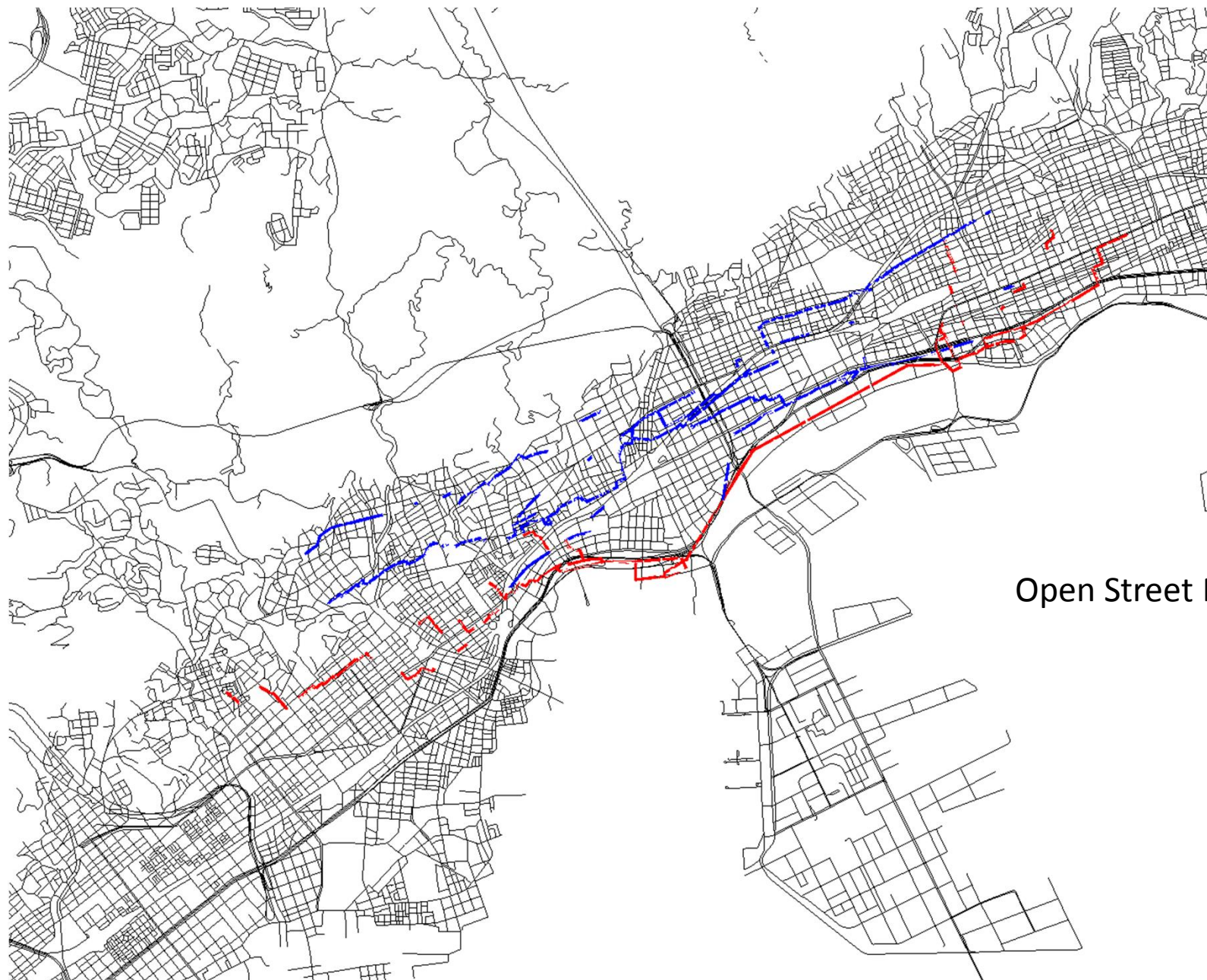
## Description of the 33 factors.

22	市道	西 (東)	area1(4) 北部
17	国道	東	area2 南部
25	市道	東	area3 中部
16	市道	西	area2 中部
13	市道	—	area4 中部
30	国道, 市道	東	area1 南部
27	市道	—	area3 北南部
28	市道	西	area1 南部
19	市道	—	area3,4 北部
20	国道	—	area5 から南下
23	市道	西	area4 中部
12	国道, 市道	東	area1 中南部
31	国道	—	area5 へ北上
26	市道	—	area3 北南部
29	市道	—	area3 北部 area4 北中部
33	国道	東	area3,4 南部

T. Uchitane and N. Ito, in preparation.



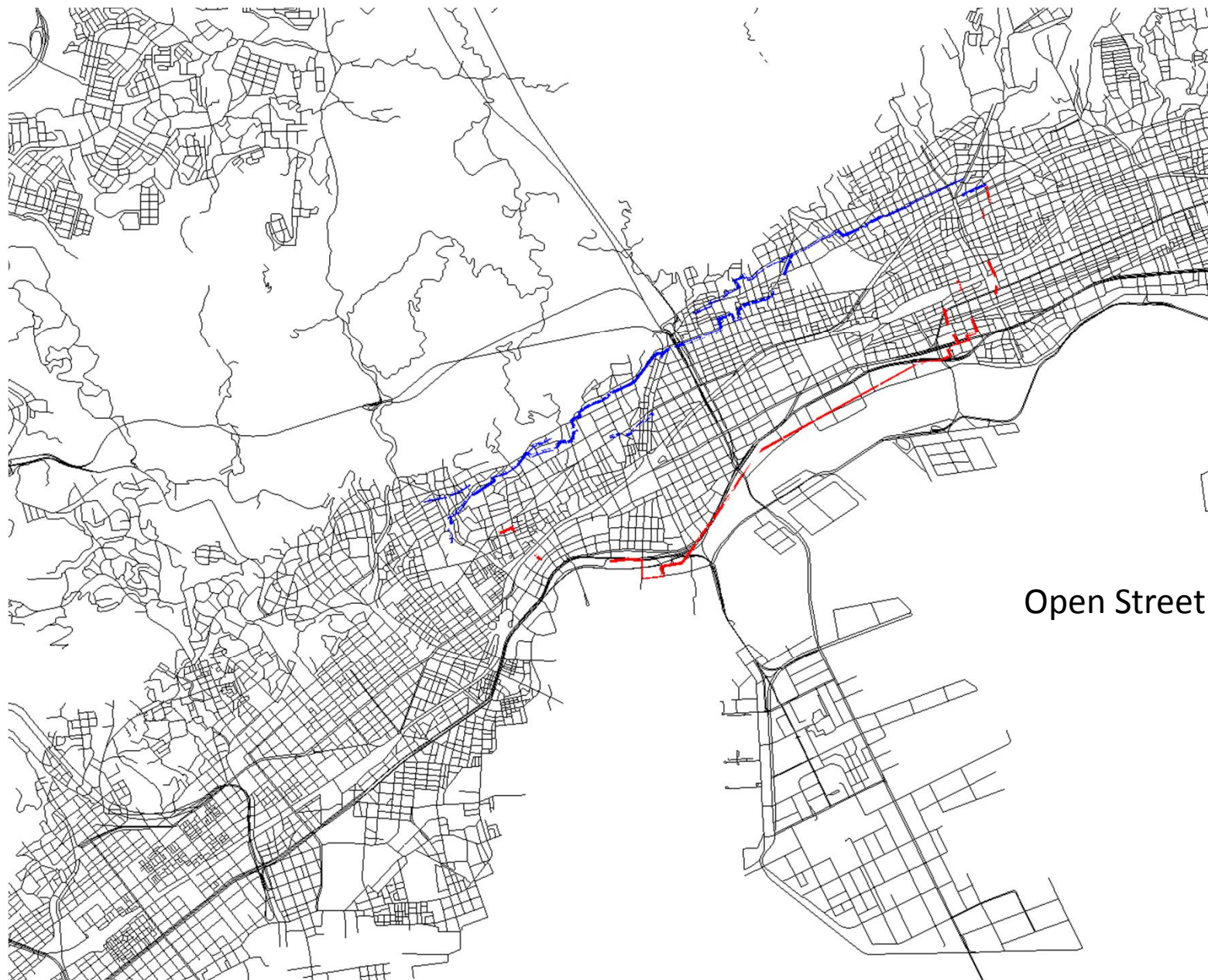
# Factor No.1: 10.3%



Open Street Map 使用

T. Uchitane and N. Ito, in preparation.

# Factor No.2: 4.8%



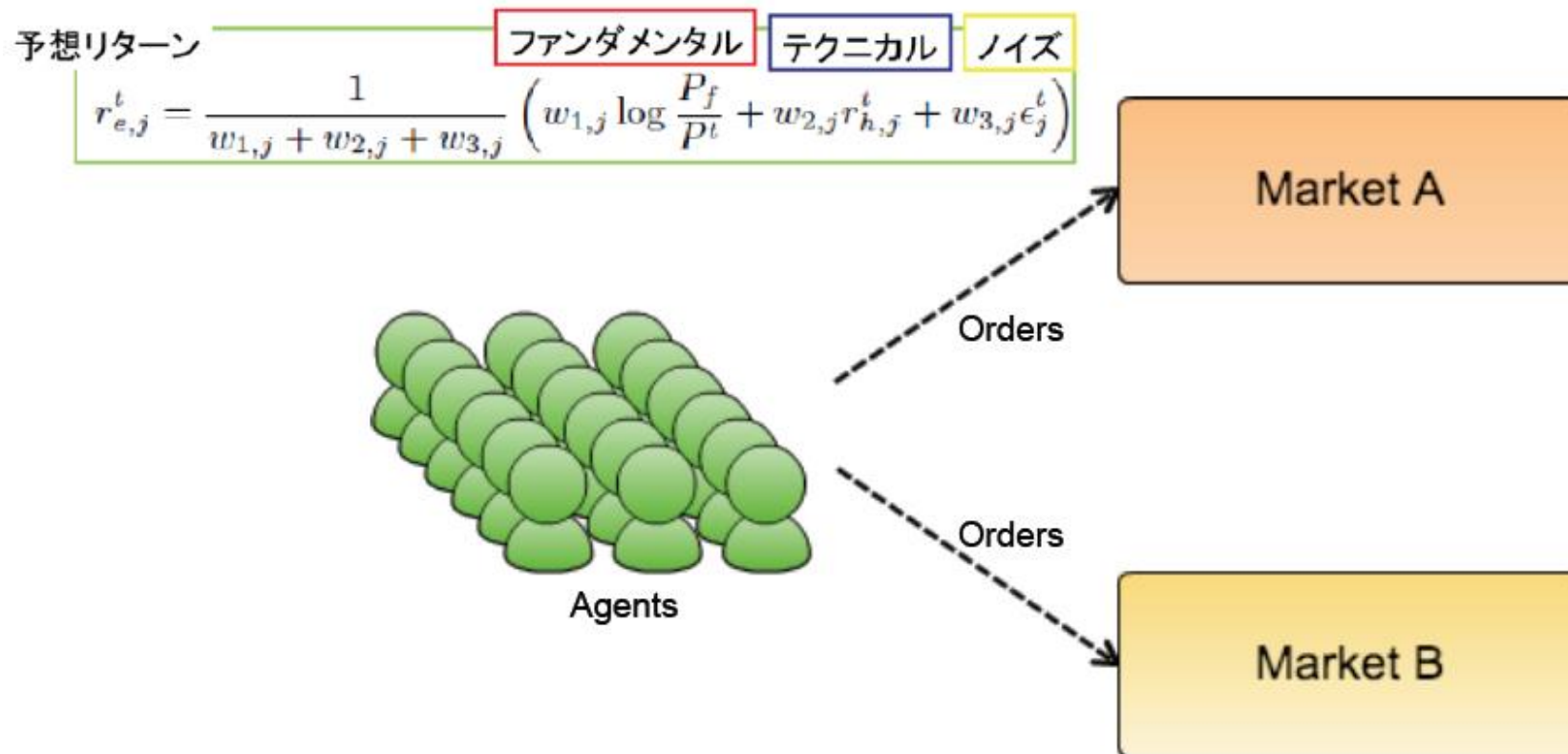
Open Street Map 使用

T. Uchitane and N. Ito, in preparation.



# 証券取引所の競合シミュレーション

## ティックサイズとシェアの関係



各agentはTick sizeの異なる2種類の市場に注文を出す事ができる  
市場のシェアがtick sizeに対してどのように変わるか調べる



# model

$$P_o[t] = P[t - 1] R_1^{a_1} R_2^{a_2} R_3^{a_3} + \eta[t]$$

注文価格

$$R_1 = \frac{P_f}{P[t-1]}$$

ファンダメンタル項  
(ファンダメンタル価格  
 $P_f$ に寄せる)

$$R_2 = \frac{P[t-1]}{P[t-\tau]}$$

順張り項  
(時間 $\tau$ 前からの  
トレンドに追従する)

$$R_3 = \exp(\varepsilon[t])$$

ノイズ項  
( $\varepsilon$ は正規分布乱数)



$a_1, a_2, a_3, \tau$ は、  
エージェントごとに  
乱数で決める

$\eta$ : 正規分布乱数  
正のとき→売り注文  
負のとき→買い注文

板

売り 注文株数	注文 価格	買い 注文株数
10	103	
30	102	
	101	
50	100	
130	99	
	98	
	97	150
	96	70

Best Bid: 98  
Best Ask: 99

取引価格

買い注文  $P_o[t] \geq P_{BestBid}[t]$   
売り注文  $P_o[t] \leq P_{BestAsk}[t]$   
のとき、それぞれ

$$P[t] = P_{BestBid}[t]$$

$$P[t] = P_{BestAsk}[t]$$

成行

それ以外の場合、

$$P[t] = P[t - 1] \text{ 指値}$$

# 上記研究で使用されているモデル (詳細②)

市場 A		
売り	価格	買い
84	101	
176	100	
	99	204
	98	77

Best Ask (100)  
Best Bid (99)

市場 B		
売り	価格	買い
1	99.2	
2	99.1	
	99.0	3
	98.8	1

Best Ask (99.1)  
Best Bid (99.0)



## 注文を出す市場選択のルール (成行注文のとき)

- ・よりよいBestBid/BestAskを提示している市場へ
- ・2市場でBestBid/BestAskが等しいとき、  
過去一定期間の取引高シェアに応じて確率的に
- (指値注文のとき)
- ・過去一定期間の取引高シェアに応じて確率的に

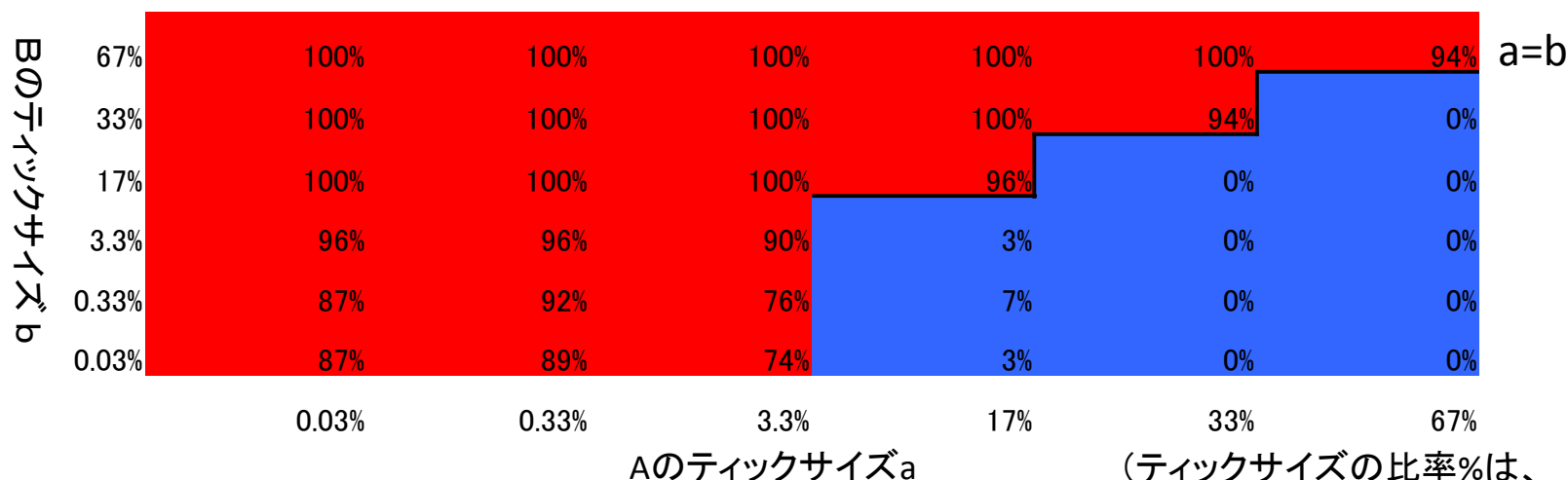
$$\text{※市場Aの取引高} = \frac{\text{市場Bの約定数}}{\text{市場Aの約定数} + \text{市場Bの約定数}}$$

# 証券取引所の競合シミュレーション

## ティックサイズとシェアの関係

Aの取引高シェア  
(初期値90%)

$10^7$ 秒=500営業日時点  
(1秒に1注文)



(ティックサイズの比率%は、  
注文をふる際の正規分布 $\eta$ の  
標準偏差に対するもの)

- 基本的には、ティックサイズの小さい市場が大きい市場のシェアを奪う。  
a=bにはっきりとした境界が存在する。
- ティックサイズが細かすぎると、ティックサイズの大小はシェアに関係しない。



# 数理的背景

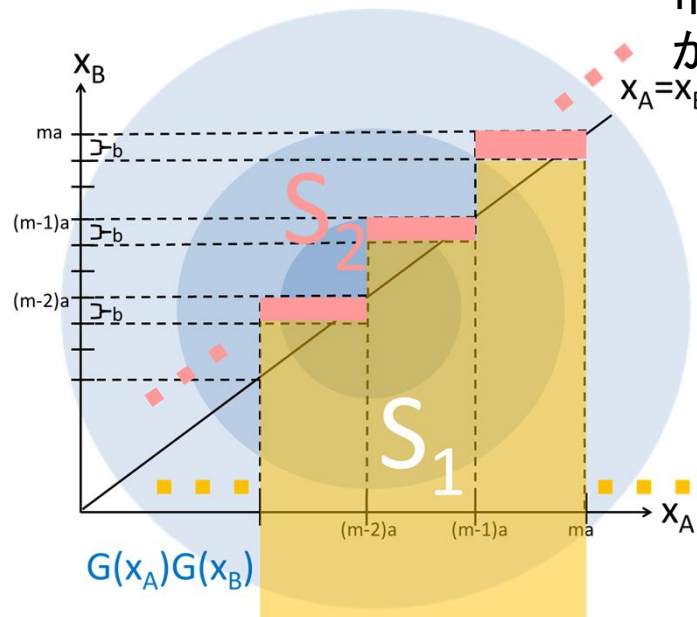
市場Aのティックサイズa、市場Bのティックサイズb  
 $a > b$  (aはbの整数倍)

指値・売り注文 → 成行・買い注文

市場A,Bともに  
 正規分布 $G(x)$   
 で注文を  
 一つずつふる

「Aに成行・買い注文が出される確率」=「Aの出来高」  
 = 1 - 「Bに成行・買い注文が出される確率」

$$= 1 - \left[ \underbrace{\iint_{S_1} G(x_A)G(x_B)dx_Adx_B}_{\text{市場Aより市場Bの指値が安いとき}} + \underbrace{\frac{1}{2} \iint_{S_2} G(x_A)G(x_B)dx_Adx_B}_{\text{市場A,Bで指値が等しいとき}} \right]$$



$$\approx \frac{1}{2} - \frac{1}{4\sqrt{\pi\sigma^2}}(a - b)$$

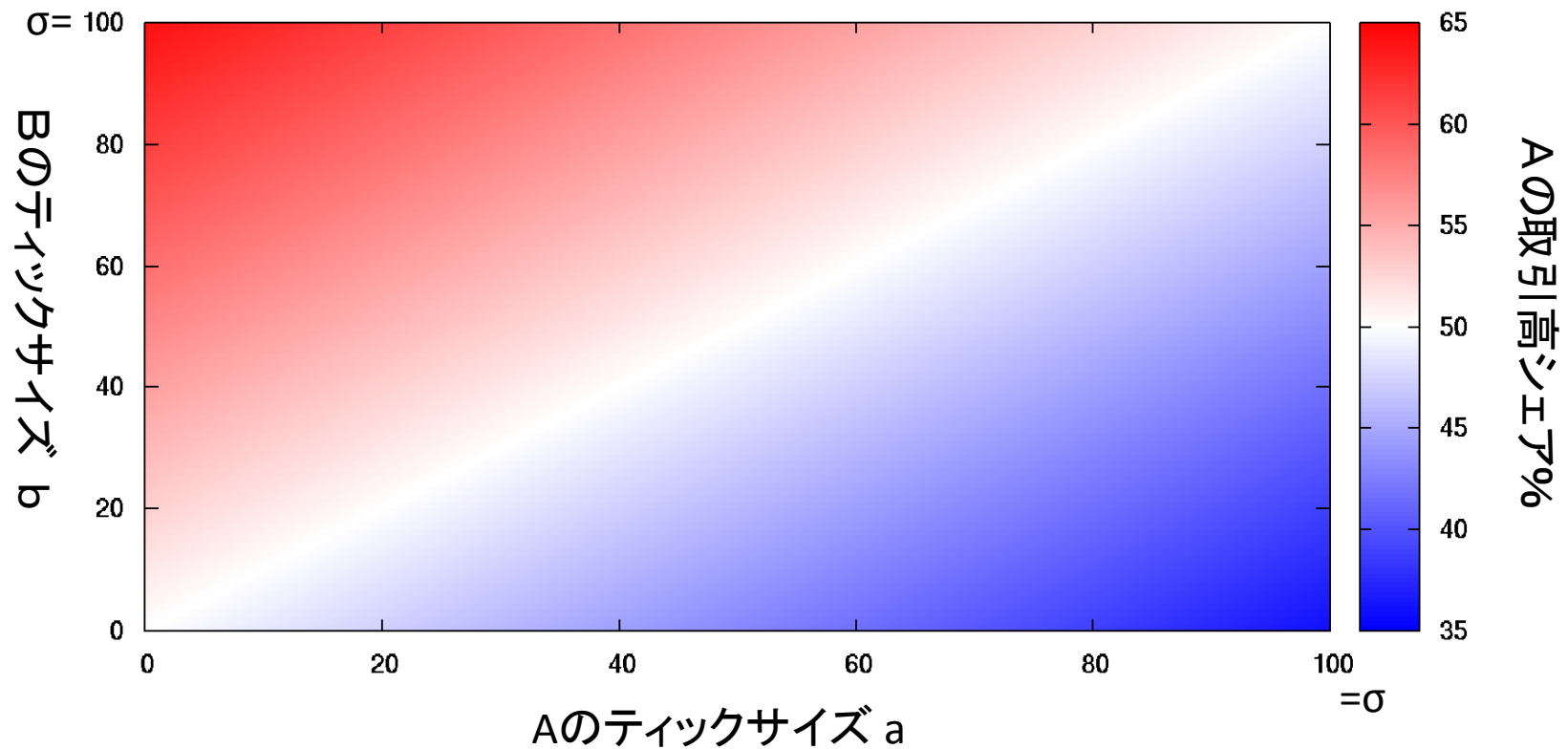
( $a, b \ll \sigma$  のとき、  
 $\sigma$  は  $S(x)$  の標準偏差)

# 解析解

Aの取引高シェア

$$\frac{1}{2} - \frac{1}{4\sqrt{\pi\sigma^2}}(a - b)$$

注文をふる際の正規分布G(x)  
の標準偏差 $\sigma=100$

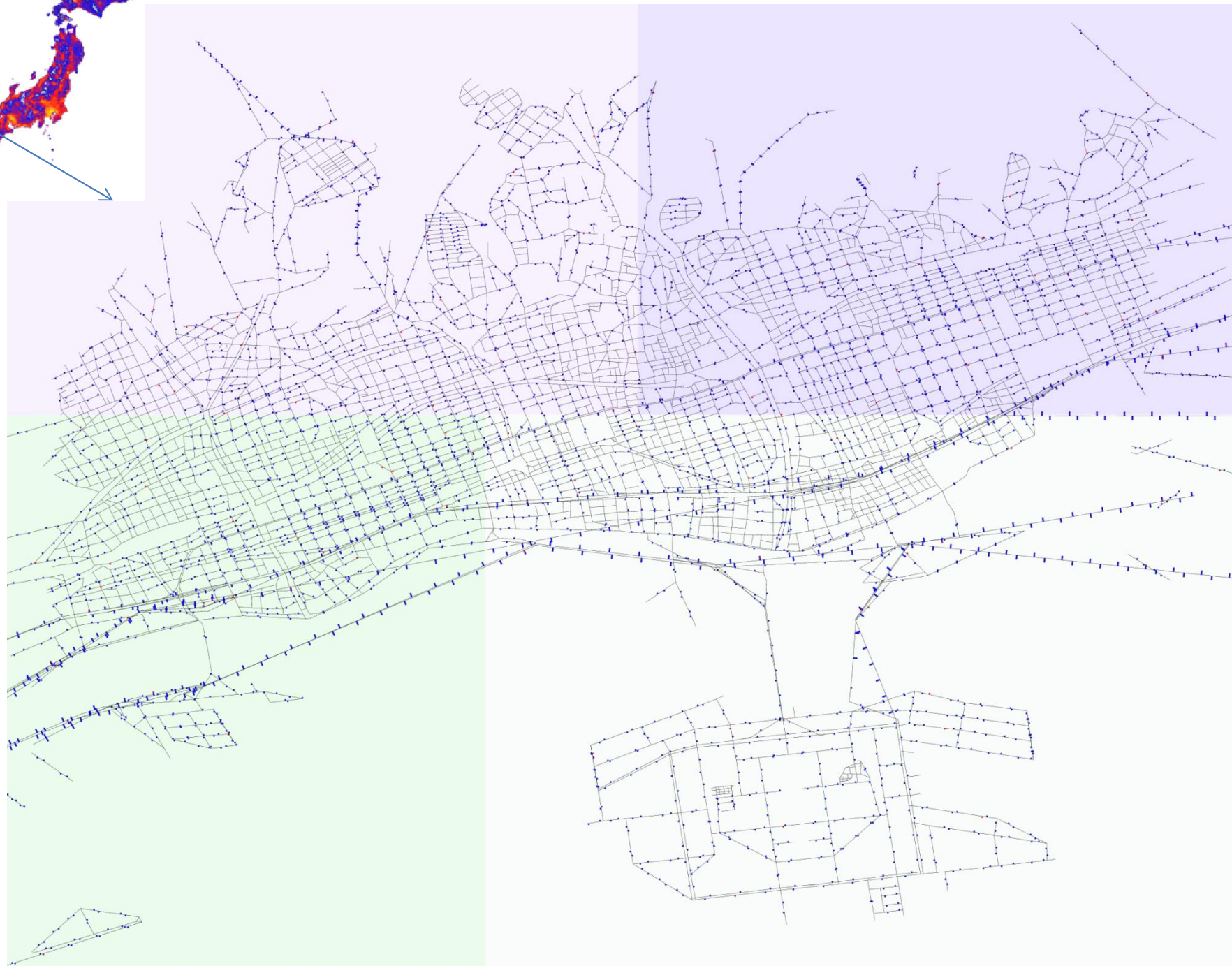
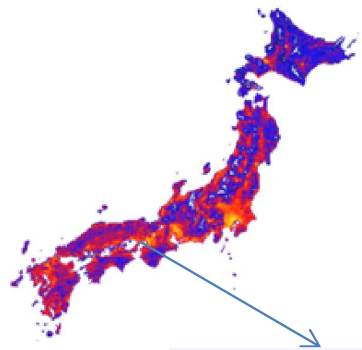


## 結 京・ポスト京、その後

都市	首都圏詳細	東京詳細	東京	広島	全国推定
総Agent数 (Trip) A	4,132,715	2,051,031	353,809	688,919	41,327,150
交差点 N	891,335	224,213	117,319	40,619	8,913,350
道路 L	2,465,767	608,913	301,341	121,543	24,657,670
Step数(秒数)	46,800	61,200	21,600	50,400	86,400
京での計算時間	2.028736	0.4666752	0.0958336	0.0770688	220.0588475
計算時間(秒数) Calc	158,495	36,459	7,487	6,021	17,192,097
計算量 (FLOP)	2.02874E+16	4.66675E+15	9.58336E+14	7.70688E+14	2.20059E+18
Calc/(N*Step*D)	0.106094088	0.048275523	0.054353665	0.026151776	1.15081227
Departure (D)	3.58127E-05	5.50384E-05	5.43572E-05	0.000112462	1.93986E-05
L*log(N)	33782180.66	7502022.358	3517448.626	1289813.248	394598190
Departure (D)	3.58127E-05	5.50384E-05	5.43572E-05	0.000112462	1.93986E-05
T1+T2	0.109922665	0.04012748	0.028344813	0.041279958	1.15081227
20箇所検討(年数)	0.067455729	0.01551701	0.003186479	0.002562547	7.316984593

Hideyuki Mizuta (2015) private communication





## とりあえずのスケーリング測定

151020

京コンピュータによるスケーリング測定。  
日本全国分のOSM使用。  
但し、コンパイルは-DNDEBUGではない。

各Crossingに2台の車を置き、100秒分のSimを行う。  
DeltaTime=0.01。計10000TimeStep。

Crossing Count            5887609  
Road Count                8143352  
道路総延長                1284452.215560 [sim : km]  
車両数                    11775218

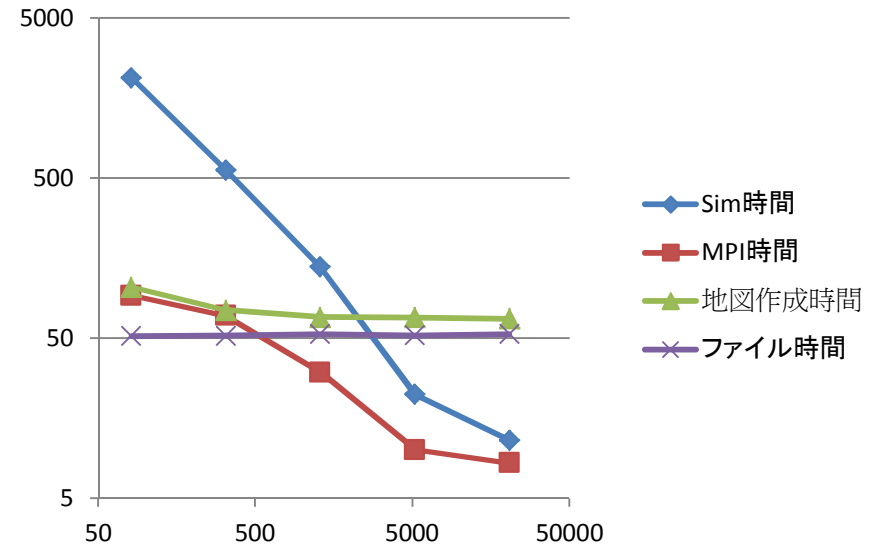
日本国内の車両数は約7700万台。  
約10%が走行しているとすると1177万台は若干多い。  
ラッシュ時並みだろうか。

100秒分のSimに2万ノードで11.5秒。内8.3秒はMPIコスト。

81ノード~1296ノードまでは大体ノード数に比例したスケーリング。  
1296→5184ノードで急に速くなる。キャッシュの効果？  
5184→20736ノードでは急に遅くなる。MPIコストの増加。  
演算速度に対し、MPIコストの割合が高く、ノード数も大きいので、  
MPIコストの増加が足を引っ張っている。  
全ノードでは却って遅くなる可能性もある。

## Hajime Inaoka(2015) private communication

地図作成部分はSingleThreadで並列化していないが、  
対して時間はかかっていない。  
大部分がファイル読み込み時間で、この部分は約50秒で一定。



ノード数	Sim時間	MPI時間	地図作成時間	ファイル時間	Sim速度	ノードあたり	Elapsed Time	Memory
81	2122.727044	92.282358	104.106949	51.497063	55.472125	0.684841049	2239	2596.4
324	561.679519	69.120104	74.593487	51.609969	209.643001	0.647046299	651	1540.4
1296	139.1762	30.541476	67.608539	52.926513	846.065493	0.652828313	212	1284.4
5184	22.183964	10.024689	67.302202	52.005345	5307.986367	1.023917123	117	1220.4
20736	11.521264	8.288863	66.103649	52.835504	10220.42196	0.492883003	192	1252.4



# 神戸市中心部





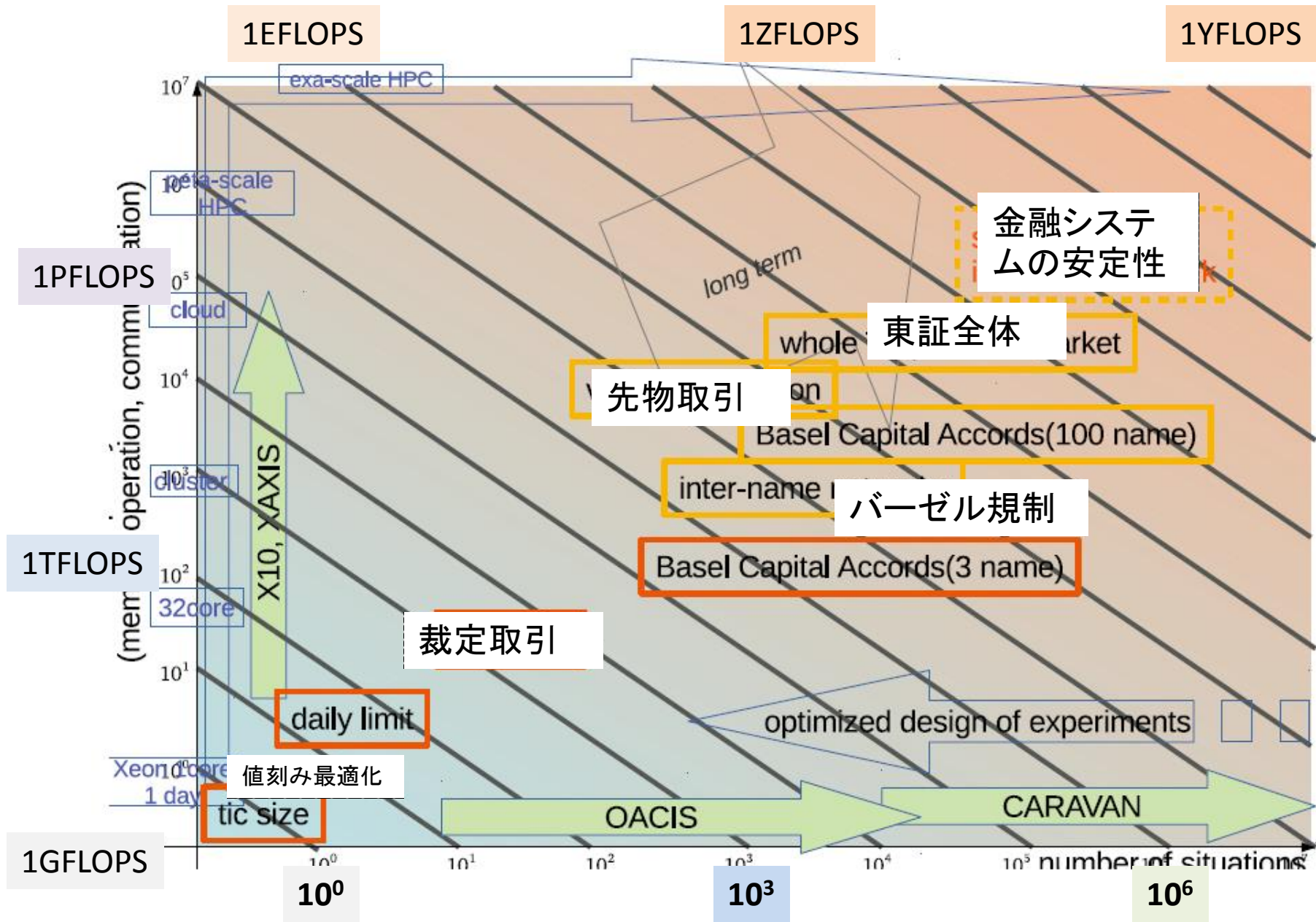
# 東京都心部





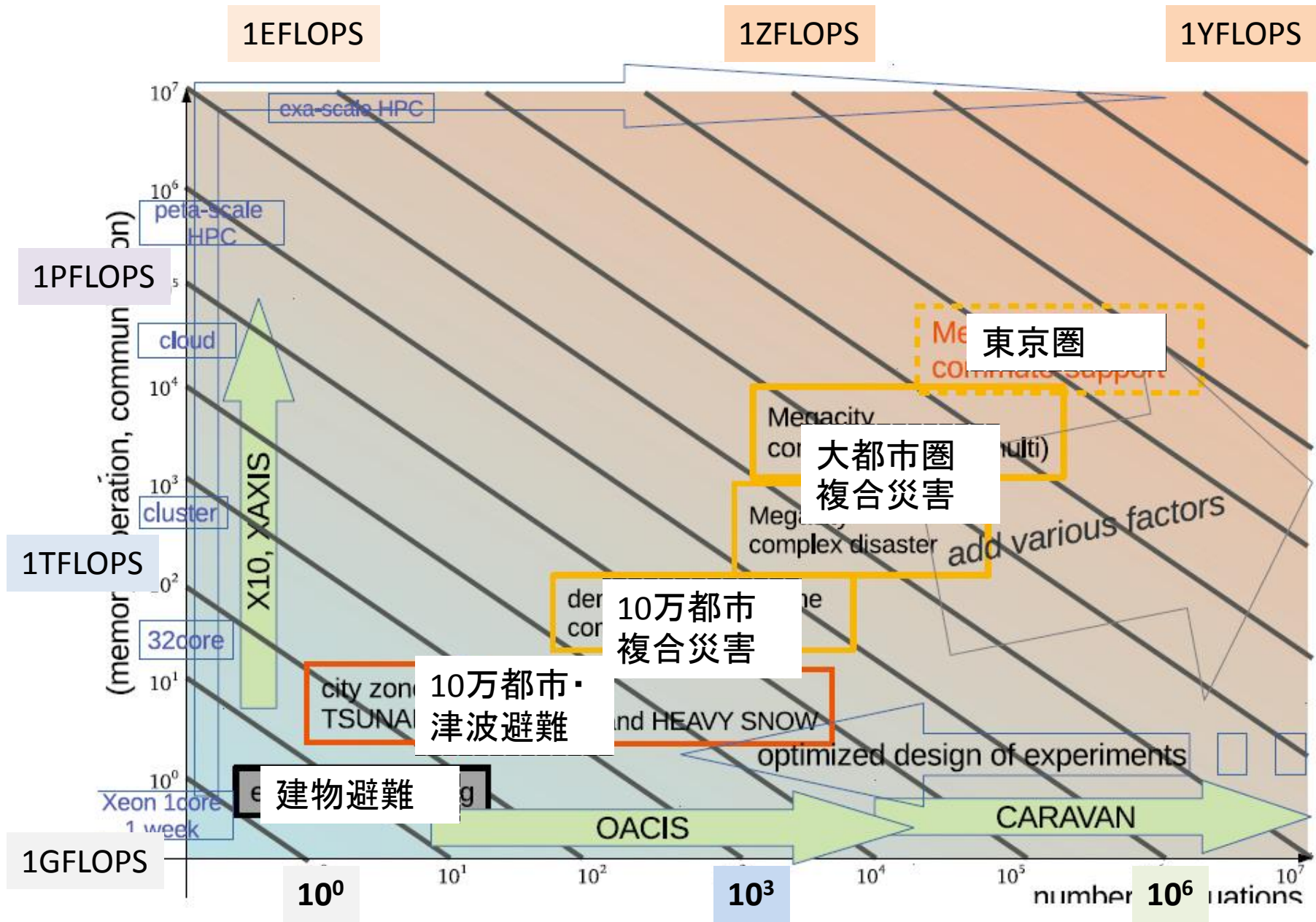


# Roadmap of securities market simulations





# Roadmap of evacuation simulations



今後、

ポスト京で社会全体をシミュレーションできる性能の計算機が現れる

20年以内に、社会全体のシミュレーション技術が現れ、今世紀中に実用化される

皆さんはどのような理想の実現を目指しますか？