

# 経済社会データおよび環境データを用いた 空間評価指標の大規模計算 ～地域メッシュ統計の利活用～

佐藤彰洋(京都大学)

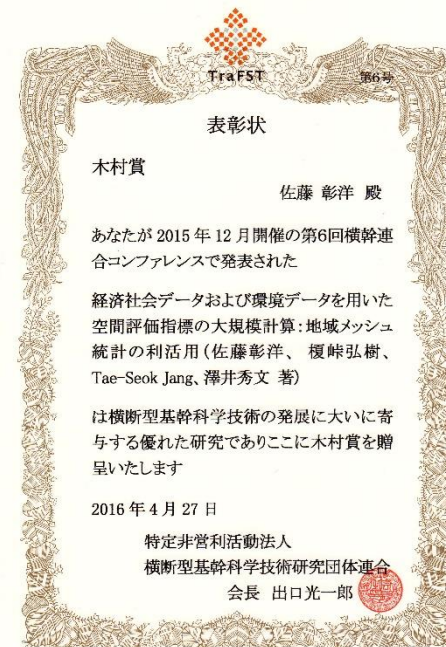
共同研究者: 榎峠弘樹 (Triton Re), Tae-Seok Jang  
(Kyungpook National University), 澤井秀文 (NICT)

H28年度第1回統計数理研究所「経済物理学とその周辺」研究会  
キヤノングローバル戦略研究所

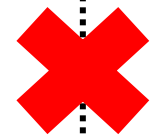
高度情報科学技術研究機構 第2回「京」を中核とするHPCIシステム利用研究課題成果報告会にて優秀成果賞(利用枠「京」を除くHPCIシステム一般利用)を受賞 (2015年10月26日)



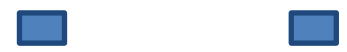
横断型基幹科学技術研究団体連合(横幹連合)  
佐藤 彰洋(京都大学)「経済社会データおよび環境データを用いた空間評価指標の大規模計算:地域メッシュ統計の利活用」  
第4回木村賞を受賞 (2016年4月27日)



# 研究動機



2012年5月29日 朝日新聞  
2013年3月3日 朝日新聞



2012年10月  
津波リスクに関する  
研究に着手する  
ことを決意



NOAA津波  
カタログデータ  
の収集と分析

2013年11月11日  
京を中核とするHPCI課題研究  
課題申込



2014年7月  
利用開始



2014年2月  
採択通知を  
受取る

2013年9月  
京を中核とする  
HPCI課題研究  
公募開始



2015年3月  
研究期間  
終了

2015年10月26日  
京を中核とするHPCI課題研究  
第2回成果報告会



2015年12月6日  
第6回横幹連合カンファレンス  
報告



2016年4月27日  
横幹連合  
第4回木村賞  
受賞式



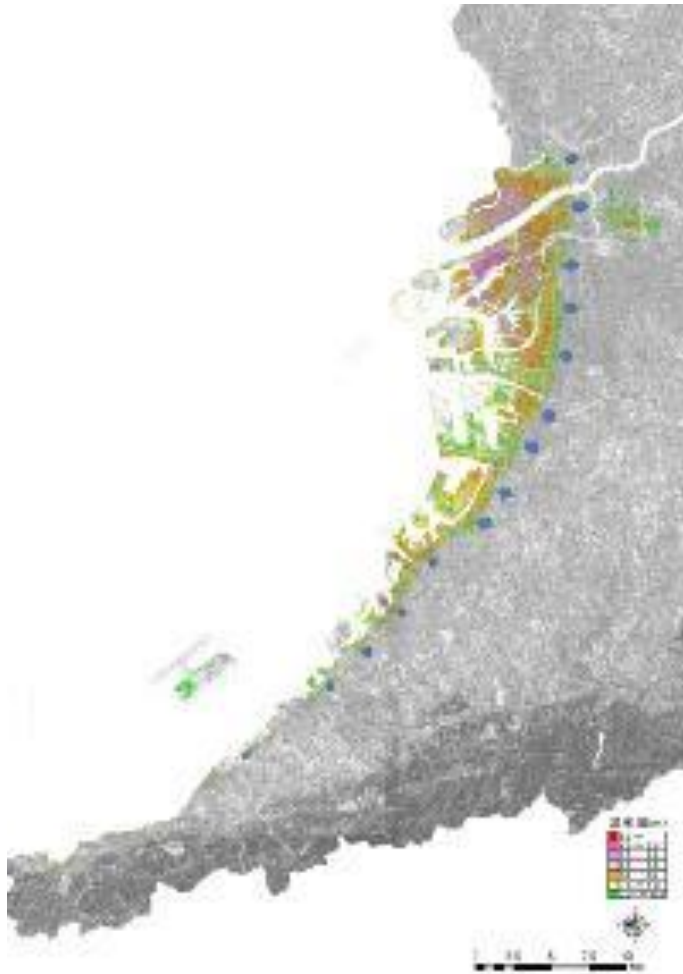
2011年3月11日  
東日本大震災



## H26年度「京」を中核とするHPCI課題研究

課題番号	hp140076
資源名	データ同化スーパーコンピュータシステム 統計数理研究所
実施期間	2014年4月1日～2015年3月31日
割当資源量	17,142ノード時間
課題名	<b>経済社会データおよび環境データを用いた空間評価指標の大規模計算</b>
Project Name	Large-scale computation of geographical evaluation indicators with socio-economic-environmental databases

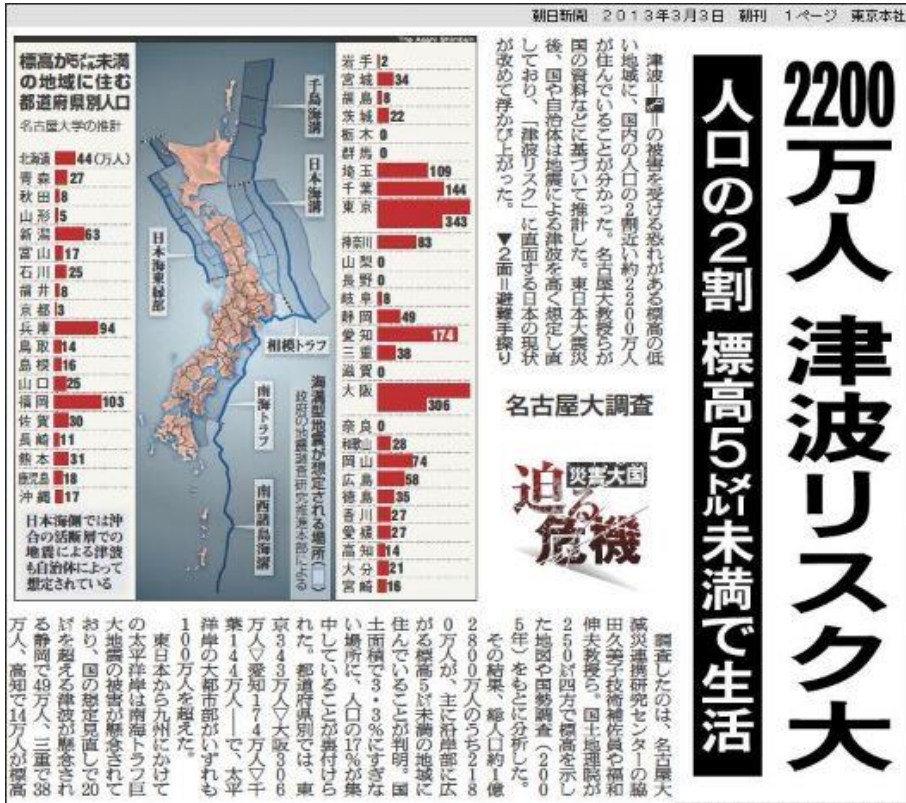
# 先行研究(1)



南海トラフ巨大地震に関する大阪府防災会議の検討部会(部会長＝河田恵昭関西大教授)がM9.0クラスの東南海地震の浸水想定を研究し梅田の地下街も浸水する予想を行う

2012年5月29日 朝日新聞

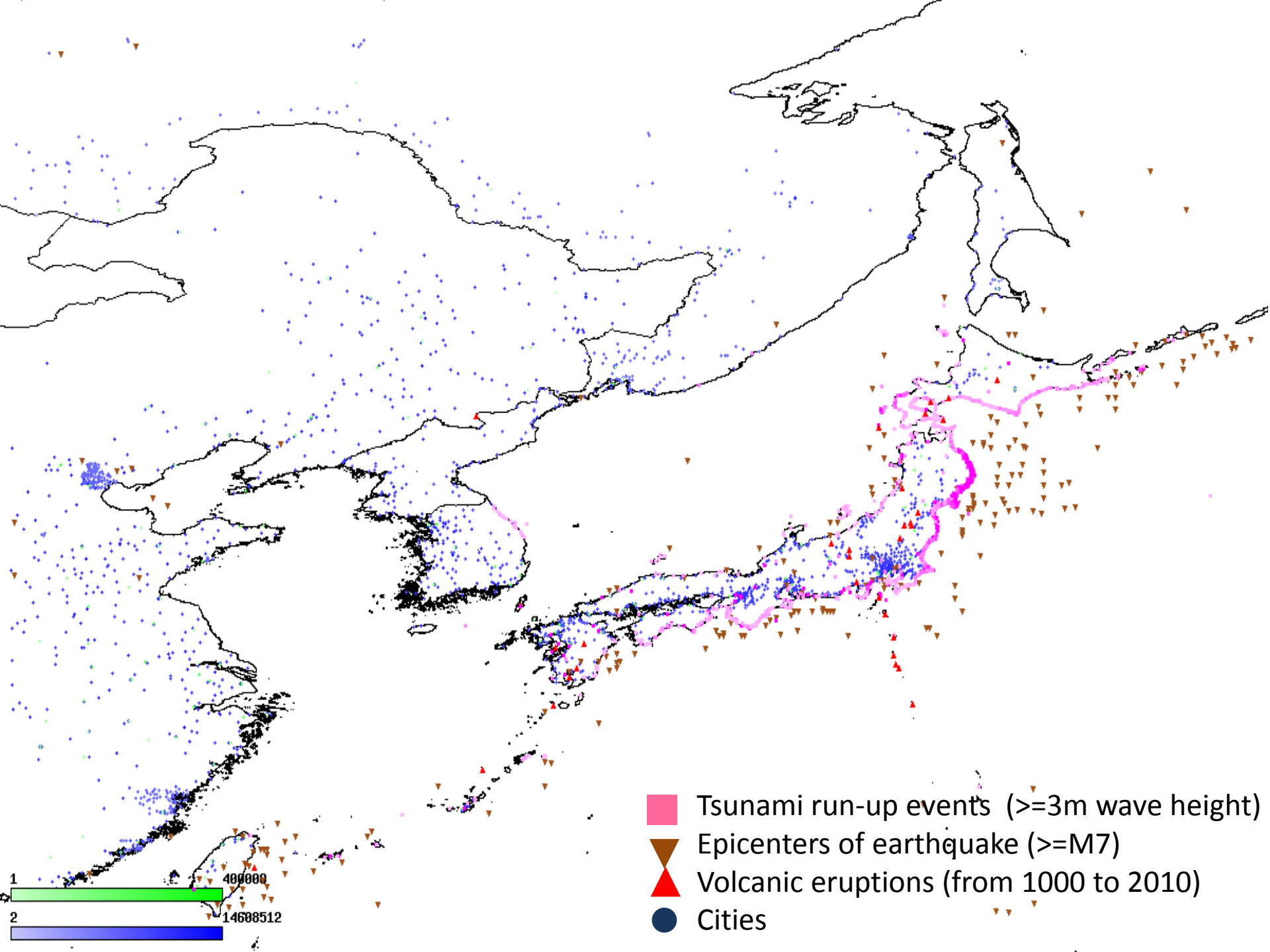
# 先行研究(2)



日本の17%の人口に  
当たる2,180万人が標  
高5メートル以下の場  
所に暮らしている(国  
土面積3.3%に相当す  
る)

名古屋大学 脇田、福和 (2013)

2013年3月3日朝日新聞



# リスクとは空間に依存する

- 位置 $c$ におけるリスク  $R(c)$ 
  - $Pop(c)$  位置 $c$ における危険にさらされる経済的価値 (暴露価値)
  - $Haz(c)$  位置 $c$ における災害が発生する頻度 (ハザード)
  - $Vul(c)$  位置 $c$ における災害に対する対応力 (脆弱性)

$$R(c) = Pop(c) \times Haz(c) \times Vul(c)$$



# 物理的エクスポージャー

- $Vul=1$ とした場合のリスク
- 最悪ケースのリスクの見積もり

## 物理的エクスポージャー

$$PhyExp(c) = Pop(c) \times Haz(c)$$

# データ

- 2011年国土数値データ(標高傾斜角)3次メッシュデータ 国土交通省国土地理院
- NOAA Tsunami Information Center 津波上陸カタログデータ(過去1000年分)
- 2010年国勢調査人口3次メッシュデータ 総務省統計局
- 2012年経済センサス事業所数3次メッシュデータ 総務省統計局
- 2012年経済センサス労働者数3次メッシュデータ 総務省統計局
- 2013年宿泊旅行統計3次メッシュデータ 国土交通省観光庁(統計法33条第2項に基づき個票情報より独自に作成)

# 総務省統計局、統計センター e-Stat

お問い合わせ | ヘルプ | English | 文字拡大・読み上げ

**e-Stat**  
政府統計の総合窓口

数字で見る日本  
e-statは、日本の統計が閲覧できる政府統計ポータルサイトです。

統計データを探す | 地図や図表で見る | 調査項目を調べる | 統計サイト検索・リンク集 | ログイン

6/9(日)午前1:00~5:00の間、システム作業のためサイトの閲覧ができなくなります。ご迷惑をおかけしますがご了承願います。

**統計データを探す**  
様々な府省が管理している統計データを検索できます。  
» [主要な統計から探す](#)  
» [政府統計全体から探す](#)  
キーワード検索(条件指定)  
  
検索

**地図や図表で見る**  
地図や図表により統計データを“見える化”できます。  
» [図表で見る日本の主要指標](#)  
» [都道府県・市区町村のすがた](#)  
» [地図で見る統計\(統計GIS\)](#)  
» [統計年表等の統計書](#)  
(総務省統計局)

**調査項目を調べる**  
統計データの基本となる用語やコードを説明しています。  
» [統計に用いる分類\(産業、職業等\)・用語](#)  
» [市区町村名・コード](#)  
» [調査項目を探す](#)

**アンケート** 実施中  
ご協力をお願いします

統計について勉強しよう »  
**統計を知る・学ぶ**

**ランキング**

統計キーワード	統計表
利用件数	キーワード
1	220 <a href="#">国勢調査</a>
2	207 <a href="#">人口</a>
3	83 <a href="#">家計調査</a>
4	60 <a href="#">死因</a>
5	59 <a href="#">都道府県</a>
6	53 <a href="#">賃金</a>

RSSによる配信はこちら

○ 新着情報 ○ 公表予定 ○ お知らせ


<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>

# 国土交通省国土政策局国土情報課


JAPANESE

GIS ホームページ 国土交通省国土政策局 国土情報課

[トップページ](#) > [インターネットサービス](#) > [国土数値情報ダウンロードサービス](#)

 **National Land Numerical Information download service**

About National Land Numerical Information download service

 [To the download service of JPGIS2.1 \(GML\) conformity and SHAPE format data](#)

[To the JPGIS-based data download service](#)

[To the National Land Numerical Information Unified Format download service](#)

[Please read the Terms of Use before using these services](#)

This English website for National Land Numerical Information was created simply for convenience sake for use in English environment and thus may include some terms that are not official English translations. For the official English translations of such terms, please refer to other official documents separately.

**!!!We have started to provide data in GML and SHAPE formats!!!**

\*\*\*\*\*

From April 2012 the data that was hitherto provided has been changed to a JPGIS 2.1 (GML) format, and in conjunction with this SHAPE format data will also be provided. Users should note that we will continue to provide the former JPGIS 1.0 format and standardized formats for the time being.

The Policy Bureau of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism has, from November 4th 2010 onwards, decided to conduct a questionnaire aimed at users of National Land Numerical Information, in an effort to enrich and develop the information and improve the download service functions. We look forward to the cooperation of users in this questionnaire, which will run for the time being. The questionnaire screen will appear as download data is chosen. Please fill in the relevant parts, and download your data.

\*\*\*\*\*

<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj-e/index.html>

# 国土交通省国土数値データ

データは  
最低標高  
平均標高  
最大標高  
最大傾斜角  
最小傾斜角  
最大傾斜角方向  
最小傾斜角方向  
を含む

合計  
388,254メッシュ



最低標高プロット  
色の濃い場所が最低標高が大きいことを示す

2011年国土数値データに基づく3次メッシュ統計（国土交通省国土政策局国土情報課提供）

<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G04-a.html>

# NOAA Tsunami Data and Information

NOAA NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION  
NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION

Search...

NOAA > NESDIS > NCEI (formerly NGDC) > Natural Hazards

Tsunamis Earthquakes Volcanoes

privacy policy

## Tsunami Data and Information

NGDC and the co-located World Data Service for Geophysics compile a unique set of tsunami-related products as part of a continuing program to support the interests of tsunami warning centers, engineers, oceanographers, seismologists, and the general public.

### Data


- Global Historical Tsunami Events and Runups
- Tsunami Deposits and Proxies
- Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis (DART®)
- Tide Gauge Records
- Tsunami Inundation DEMs

### Maps

- Natural Hazards Interactive Map
- Tsunami Travel Time Maps
- Natural Hazards KMZ file

### Images, Posters and Publications

- Tsunami Images
- Global Tsunami Poster
- Tsunami Sources Icosahedron
- Tsunami Publications
- Science on a Sphere*: Tsunami Datasets



Search Tsunami Events

Search Tsunami Runups

Search Tsunami Deposits

Recent / Significant Tsunamis

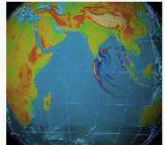
Tsunami Images

Tsunami Media Fact Sheet


NOAA Tsunami Program Brochure

Related External Links


Copyright Notice



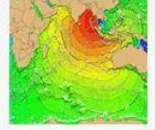
Animation provided by Vasily Titov, NOAA/PMEL



Natural Hazards Interactive Map



Tsunami Sources Poster



Tsunami Travel Time Maps

NOAA > NESDIS > NCEI (formerly NGDC) > Natural Hazards

Questions: [haz.info@noaa.gov](mailto:haz.info@noaa.gov)

# メッシュコード (JIS X0410)

- **JIS X0410** はメッシュ統計を作成するために必要とされるメッシュコードの定義を与える日本工業規格
- JIS X0410は1976年に日本工業規格として承認される

3次メッシュコード =  $puqvrw$

80km grid square → 1次メッシュコード(4 digits)

40 arc-minutes for latitude  
1 arc-degree for longitude

10km grid square → 2次メッシュコード(6 digits)

5 arc-minutes for latitude  
7.5 arc-minute for longitude

1km grid square → 3次メッシュコード (8 digits)

30 arc-seconds for latitude  
45 arc-seconds for longitude

$$\lfloor \text{latitude} \times 60 \div 40 \rfloor = p \quad (p \text{ is two digits})$$

$$a = (\text{latitude} \times 60 \div 40 - p) \times 40$$

$$\lfloor a \div 5 \rfloor = q \quad (q \text{ is one digit})$$

$$b = (a \div 5 - q) \times 5$$

$$\lfloor b \times 60 \div 30 \rfloor = r \quad (r \text{ is one digit})$$

$$c = (b \times 60 \div 30 - r) \times 30$$

$$\lfloor \text{longitude} - 100 \rfloor = u \quad (u \text{ is two digits})$$

$$f = \text{longitude} - 100 - u$$

$$\lfloor f \times 60 \div 7.5 \rfloor = v \quad (v \text{ is one digit})$$

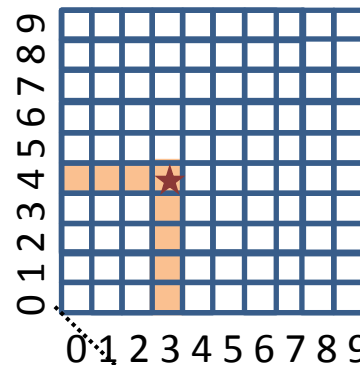
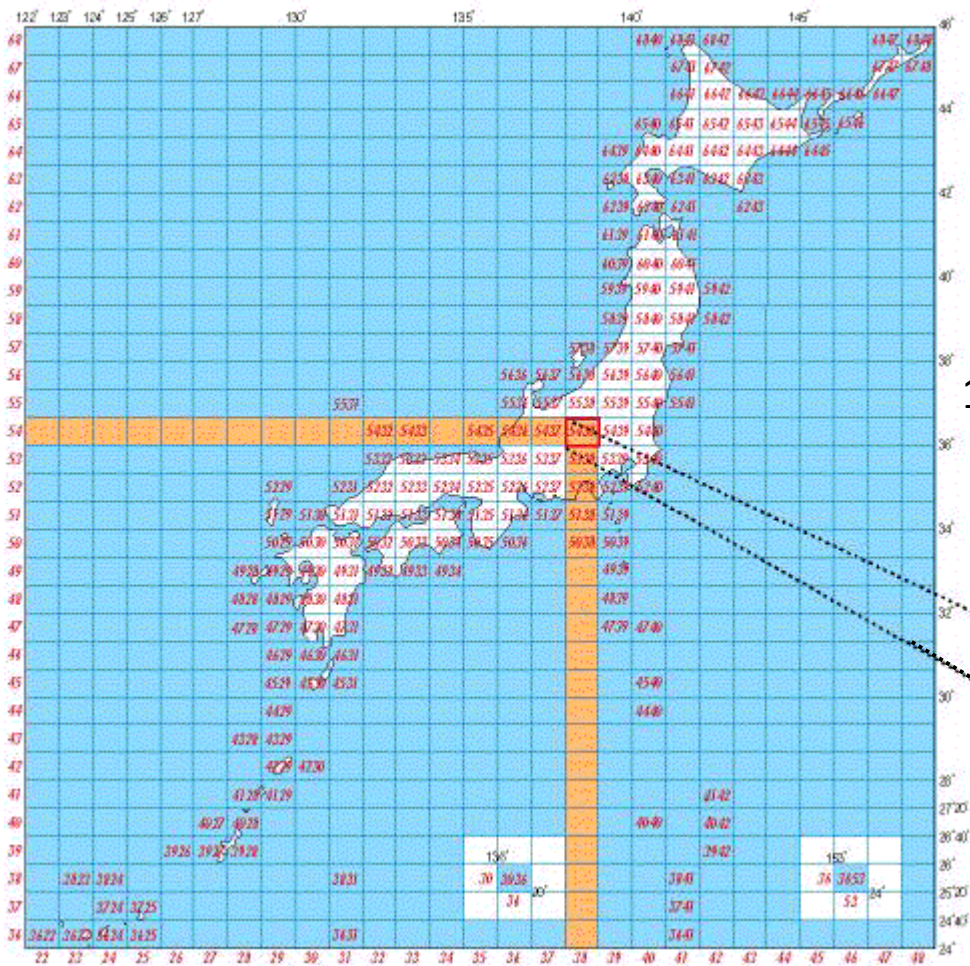
$$g = (f \times 60 \div 7.5 - v) \times 7.5$$

$$\lfloor g \times 60 \div 45 \rfloor = w \quad (w \text{ is one digit})$$

$$h = (g \times 60 \div 45 - w) \times 45$$

# メッシュコードとは

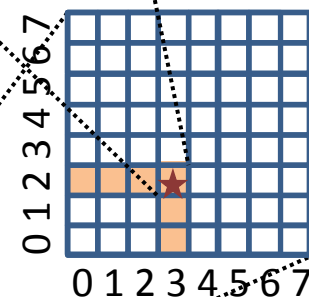
## メッシュコード (JIS X0410)



5438-2343

1km メッシュ

30 arc-seconds for latitude  
45 arc-seconds for longitude



5438-23

10km メッシュ

80km メッシュ

40 arc-minutes for latitude  
1 arc-degree for longitude

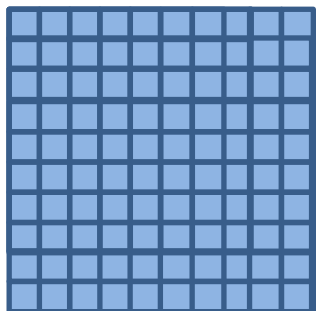
5438

5 arc-minutes for latitude  
7.5 arc-minutes for longitude



# メッシュ統計を用いたリスク計算

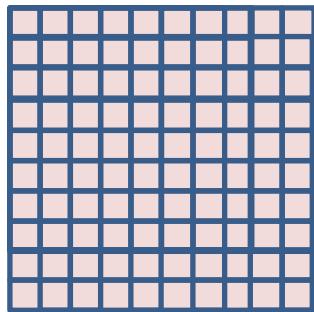
- ・拡張性
- ・有効性
- ・有用性
- ・プライバシー
- ・セキュリティ



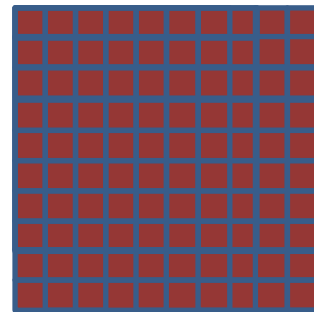
$Haz(c)$

×

人口メッシュ



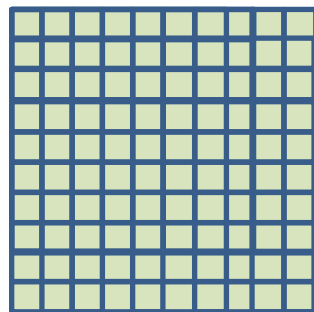
人口に対する物理的エクスポージャー



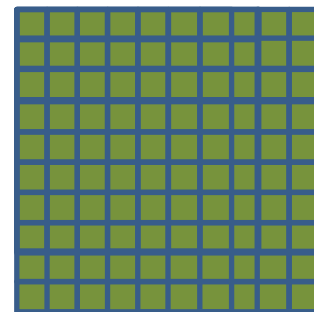
=

⋮

旅行者数メッシュ



旅行者に対する物理的エクスポージャー

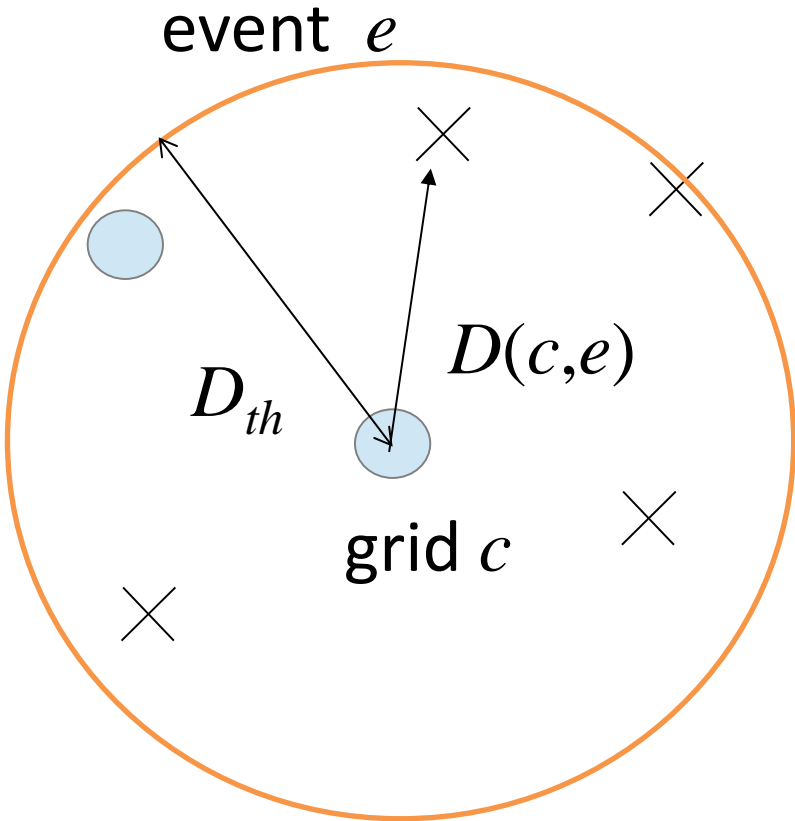


=

$Pop(c)$

$PhyExp(c)$

# 相対頻度による推定



2地点間大圏距離はWGS-84  
を用いて計算

1. Let  $D(c,e)$  be a geodesic distance between grid  $c$  and event  $e$
2. Suppose  $x(e)$  and  $Alt(c)$  be water height of event  $e$  and minimum altitude at grid  $c$
3. Calculate the number of events  $n(c)$  satisfying  $D(c,e) \leq D_{th}$  and  $x(e) \geq Alt(c)$
4. Estimate frequency  $Haz_1$  as a relative frequency  $Haz_1(c) = n/T$ , where  $T = 1000$  [years]
5. Compute  $PhExp(c) = Pop(c)Haz_1(c)$

# 一般化パレート分布

$$f(x; \xi, \mu, \beta) = \frac{1}{\beta} \left( 1 + \frac{\xi(x - \mu)}{\beta} \right)^{-\frac{1}{\xi} - 1}$$

一般化パレート分布のパラメータはメッシュ $c$ 周辺半径 $D_{th}$  (km)における津波波高 $x_i$  ( $i=1, \dots, N(c)$ ) から最尤法または確率重みモーメント法(PWM)を用いて計算される

$$l(\xi, \mu, \beta) = -N(c) \log \beta - \left( \frac{1}{\xi} + 1 \right) \sum_{i=1}^{N(c)} \log \left( 1 + \frac{\xi(x_i - \mu)}{\beta} \right)$$

$$\{\hat{\xi}, \hat{\mu}, \hat{\beta}\} = \arg \max_{\xi, \mu, \beta} l(\xi, \mu, \beta)$$

# 一般化パレート分布と $q$ -指数関数との関係

- Probability density function

$$f(x; \xi, \mu, \beta) = \frac{1}{\beta} \left( 1 + \frac{\xi(x - \mu)}{\beta} \right)^{-\frac{1}{\xi} - 1}$$

- Cumulative distribution function

$$F(x; \xi, \mu, \beta) = \left( 1 + \frac{\xi(x - \mu)}{\beta} \right)^{-\frac{1}{\xi}} = \exp_{\frac{2\xi+1}{\xi+1}} \left( -\frac{x - \mu}{\beta(2 - q)} \right)$$

$q$ -exponential function

$$\exp_q(x) = \left( 1 + (q - 1)x \right)^{\frac{1}{1 - q}}$$

# 一般化パレート分布を用いた ハザードの外挿方法

- 一般化パレート分布のパラメータを過去1000年間の津波波高データ  $x_i$  ( $i=1, \dots, N(c)$ ) 推定し、パラメータ推定量  $(\hat{\beta}, \hat{\xi}, \hat{\mu})$  を得る
- その時メッシュ  $c$  におけるハザードは

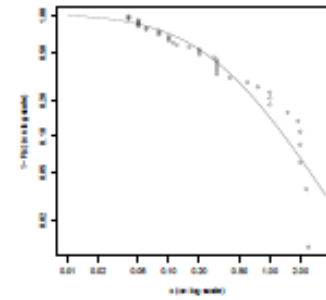
$$Haz_2(c) = \frac{N(c)}{T} \Pr[X \geq Alt(c)] = \frac{N(c)}{T} \left( 1 + \frac{\hat{\xi}(Alt(c) - \hat{\mu})}{\hat{\beta}} \right)^{-\frac{1}{\hat{\xi}}},$$

により外挿できる。ここで、 $N(c)$  はメッシュ  $c$  における観測点数、 $T$  は観測期間、 $Alt(c)$  は  $c$  における標高である

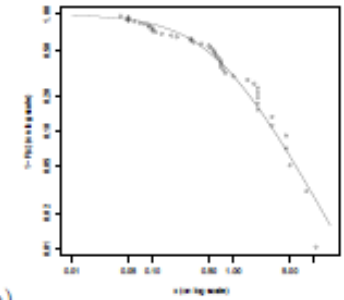
# パラメータの推定値

$\lambda=0.01$   
 $D_{th}=30\text{km}$

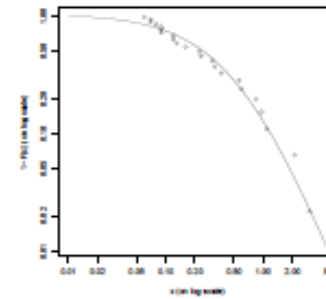
空港	$\xi$	$\mu$	$\beta$
(a)Kaisai	0.733557	0.010000	0.230741
(b)Haneda	0.784179	-0.000249	0.493063
(c)New Chitose	0.469640	0.010000	0.284496
(d)Centair	0.865876	0.010000	0.153809
(e)Naha	0.787768	0.010000	0.080989
(f)Ishigaki	1.414450	0.010000	0.056215



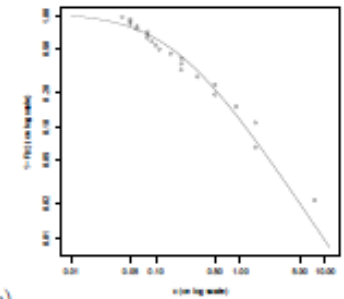
(a)



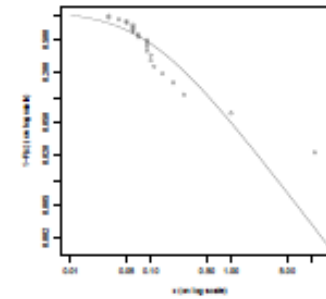
(b)



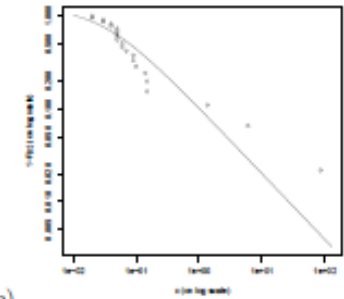
(c)



(d)



(e)



(f)

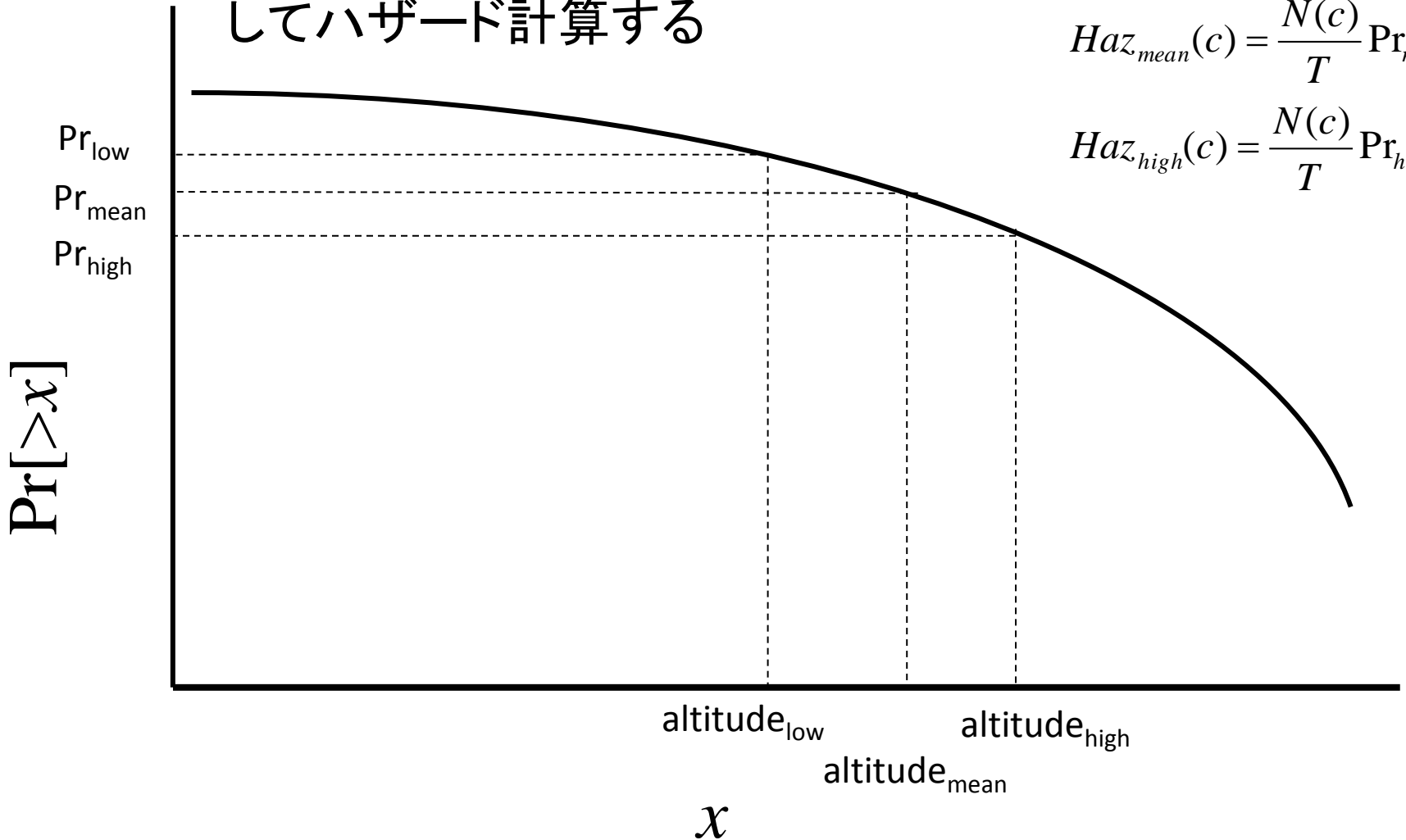
# 三種類のハザード

最低標高、平均標高、最大標高に対してハザード計算する

$$Haz_{low}(c) = \frac{N(c)}{T} Pr_{low}$$

$$Haz_{mean}(c) = \frac{N(c)}{T} Pr_{mean}$$

$$Haz_{high}(c) = \frac{N(c)}{T} Pr_{high}$$

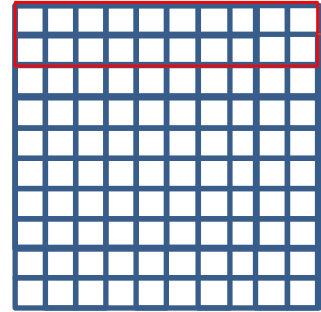


# 方法論

$N$ 個メッシュ

Core

割当



1

ハザードの推計



2



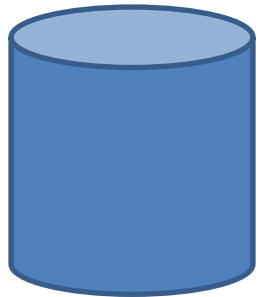
⋮

K

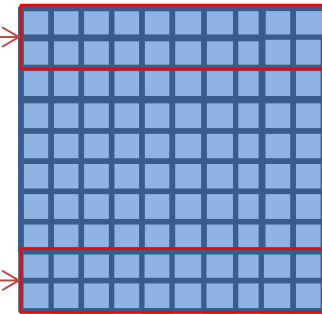


- $N$  個のメッシュを  $K$  個のコアに割り当てる
- 共通データベースから各コアはデータを読み込む
- リスク計算をする
- ハザード推定値の計算結果をまとめる

データ読込



データベース



計算結果のとりまとめ

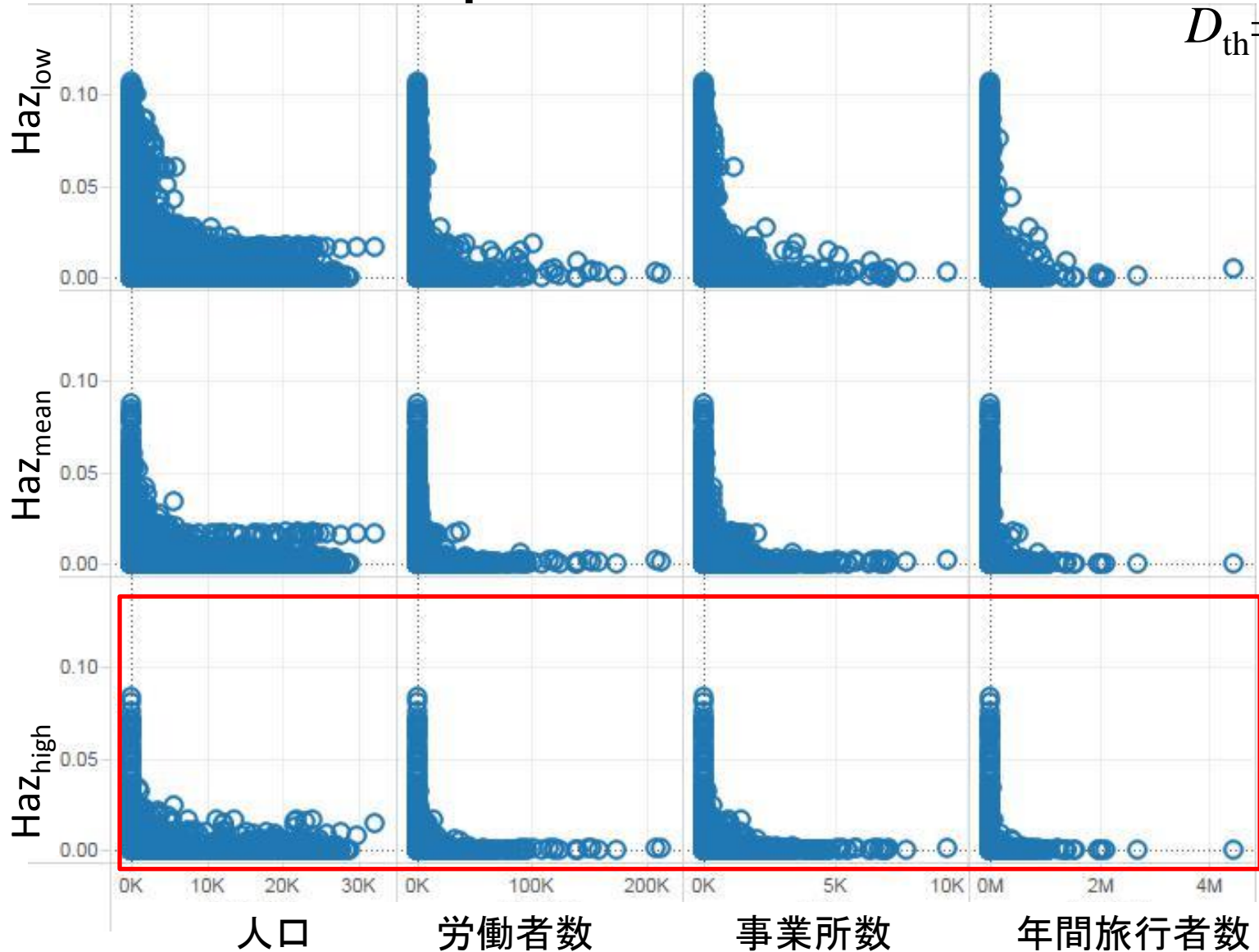


# Scatter Plots between hazards and exposed values

$\lambda=0.005$

$D_{th}=10\text{km}$

ハザード(Hazard)



# Hazard

$$\lambda=0.005$$

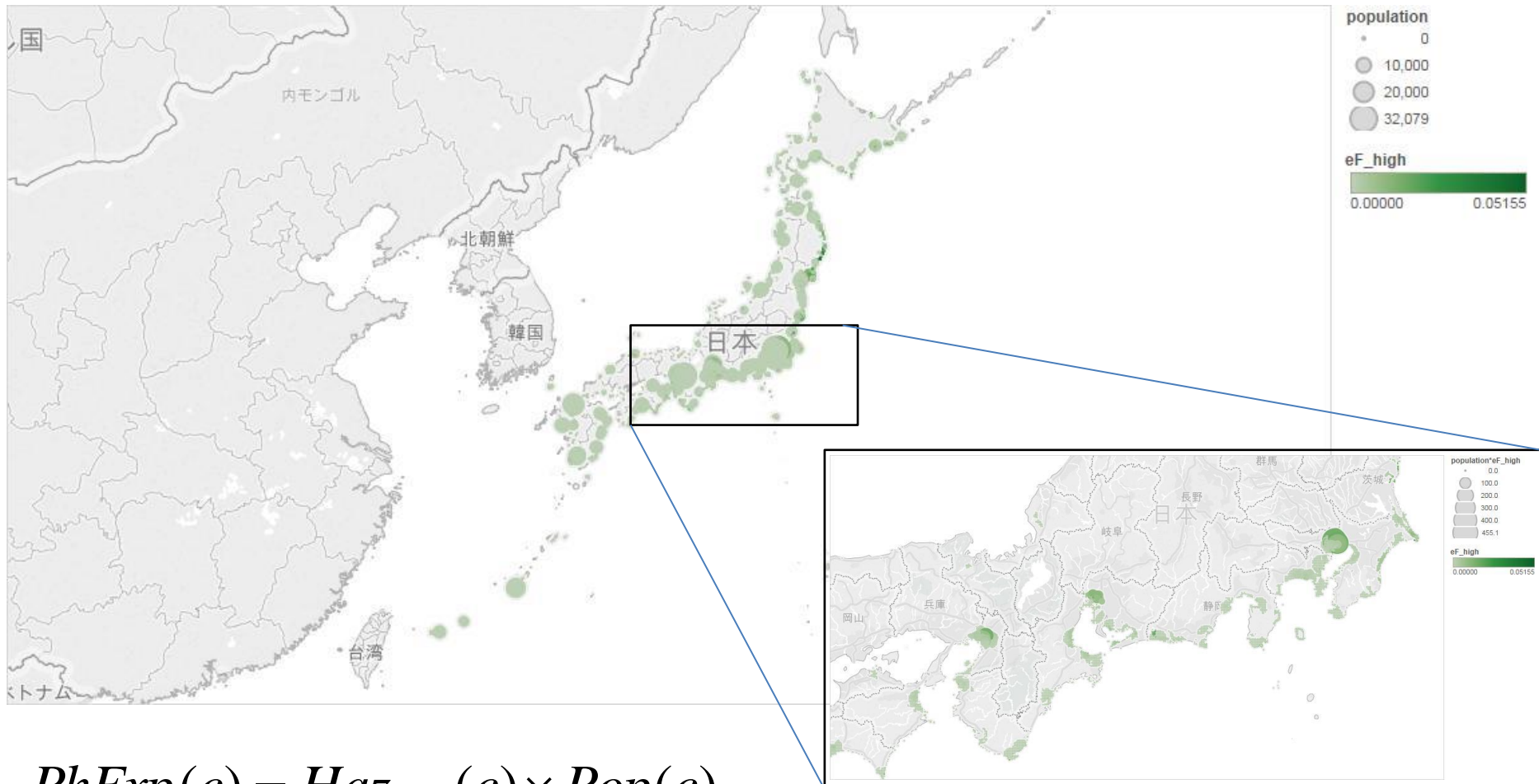
$$D_{th}=10\text{km}$$



$Haz_{high}(c)$

# Physical exposure

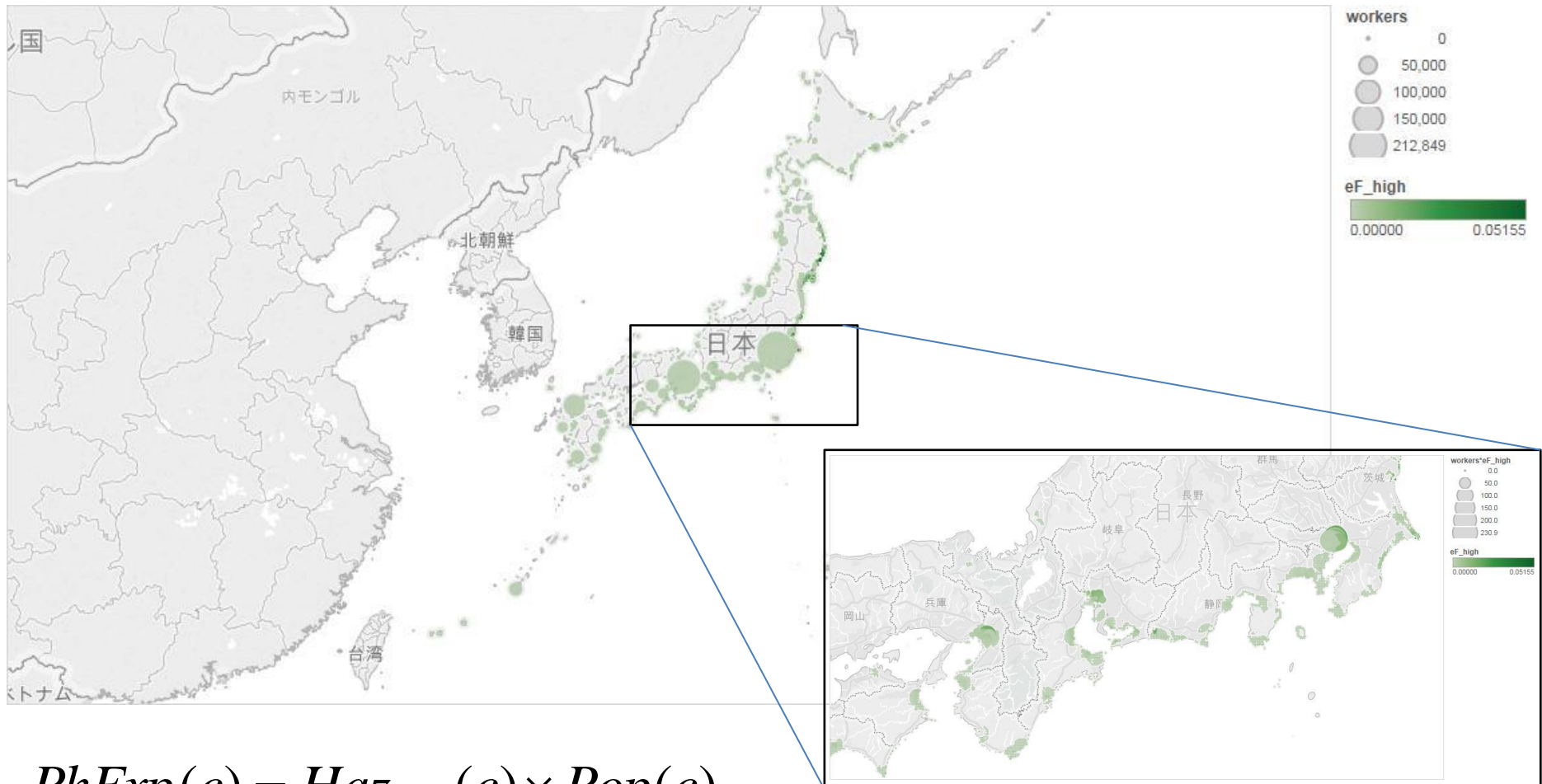
## 2010 Population census (population)



$$PhExp(c) = Haz_{high}(c) \times Pop(c)$$

# Physical exposures

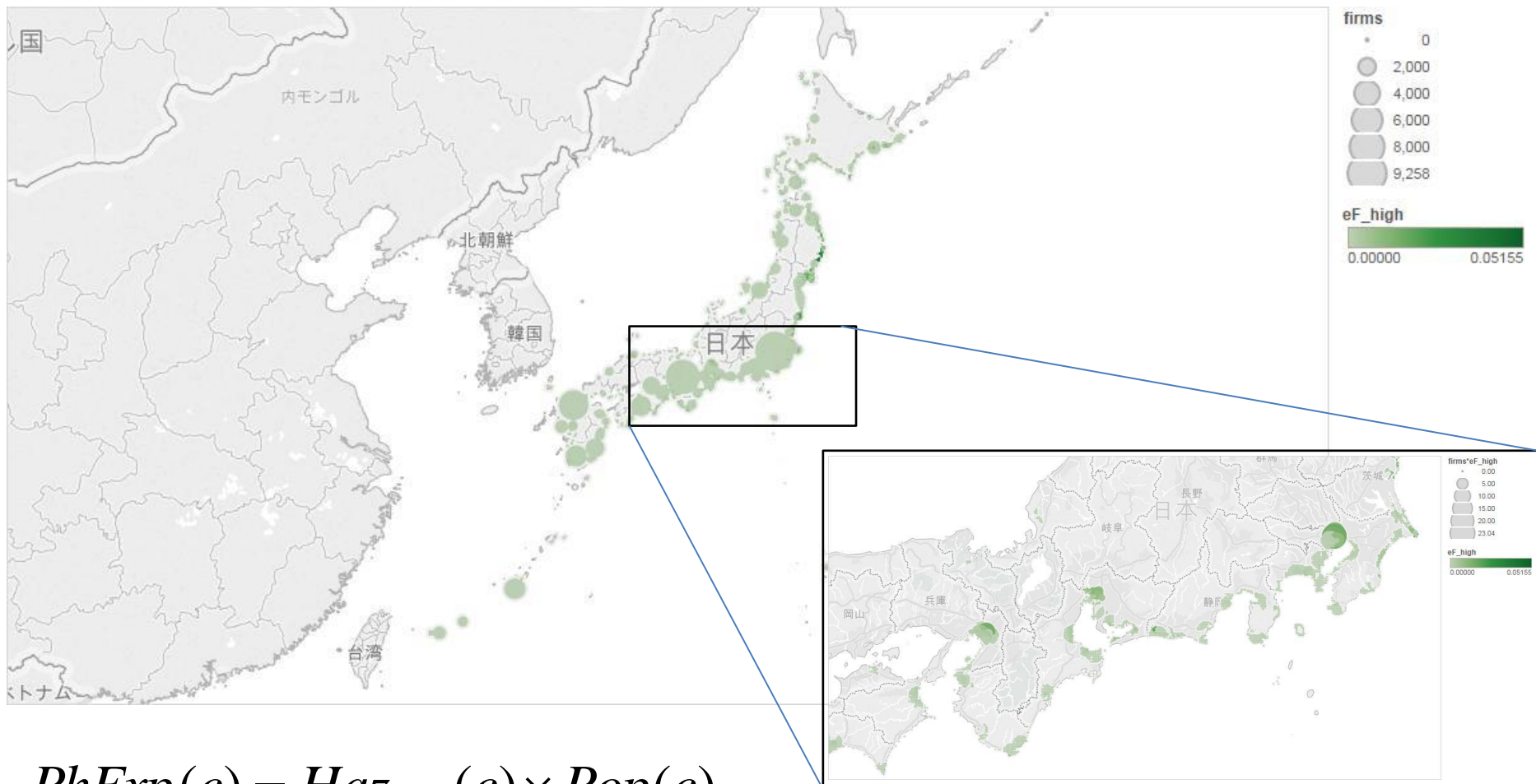
## 2012 economic census (# of workers)



$$PhExp(c) = Haz_{high}(c) \times Pop(c)$$

# Physical exposure

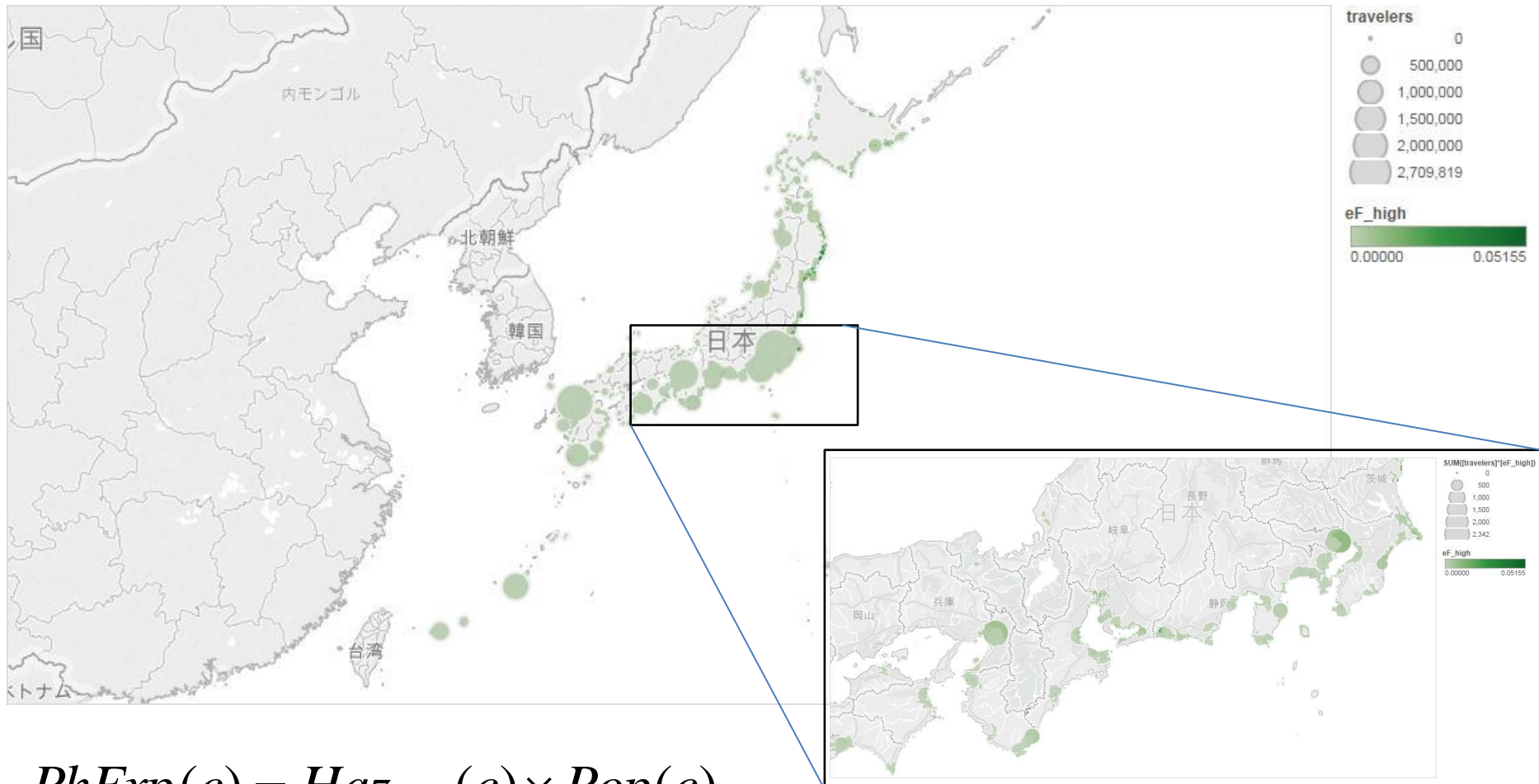
## 2012 economic census (# of firms)



$$PhExp(c) = Haz_{high}(c) \times Pop(c)$$

# Physical exposure

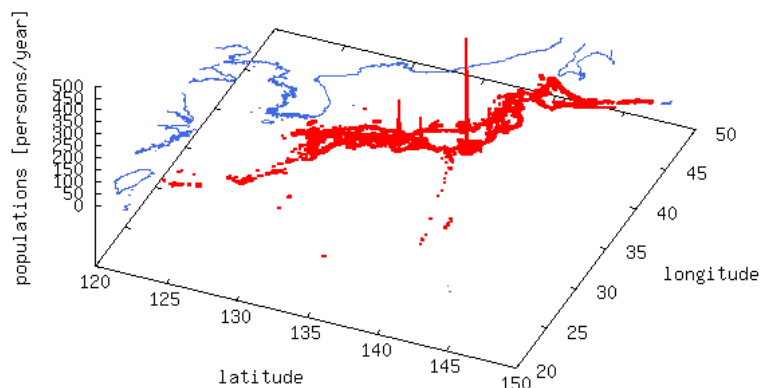
## 2013 accommodation survey (# of travelers)



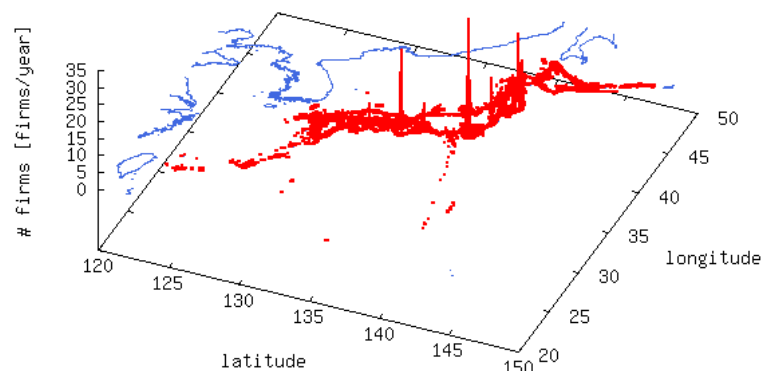
$$PhExp(c) = Haz_{high}(c) \times Pop(c)$$

# 物理的エクスポージャー

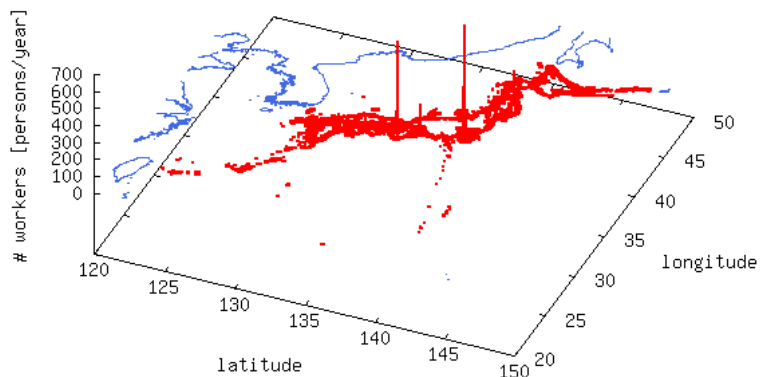
## 人口(2010)



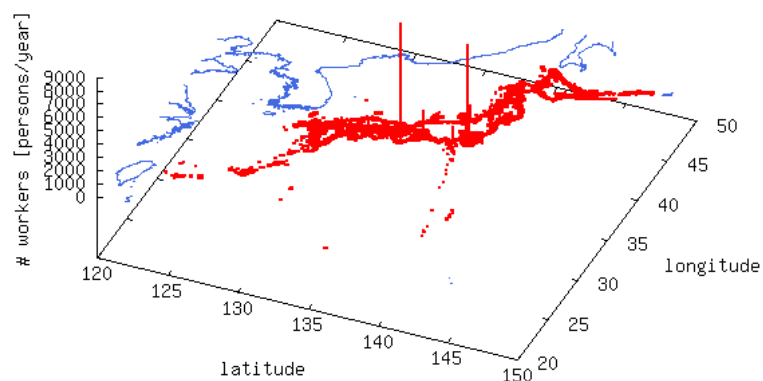
## 事業所数(2012)



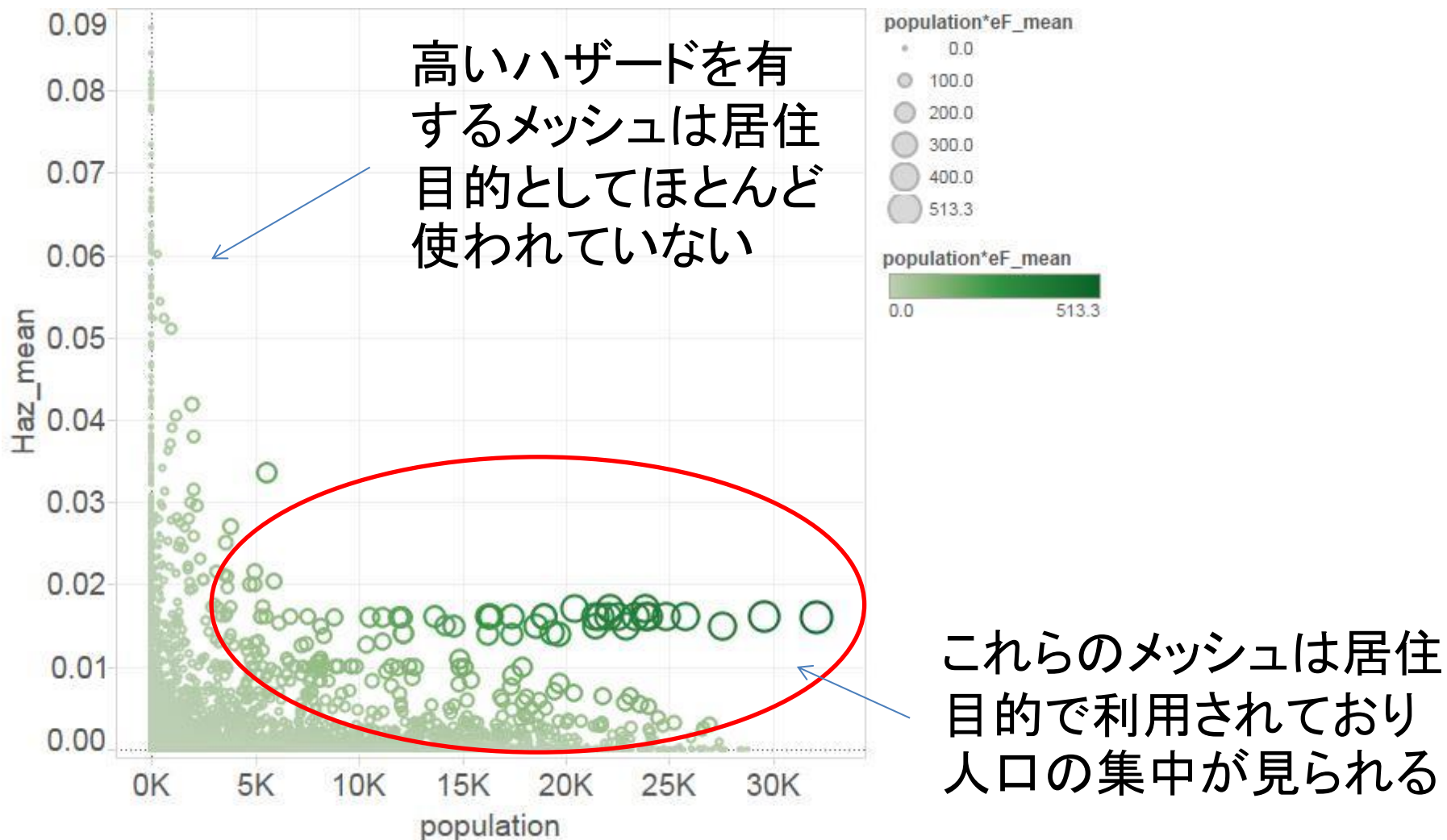
## 従業者数(2012)



## 年間旅行者数(2013)



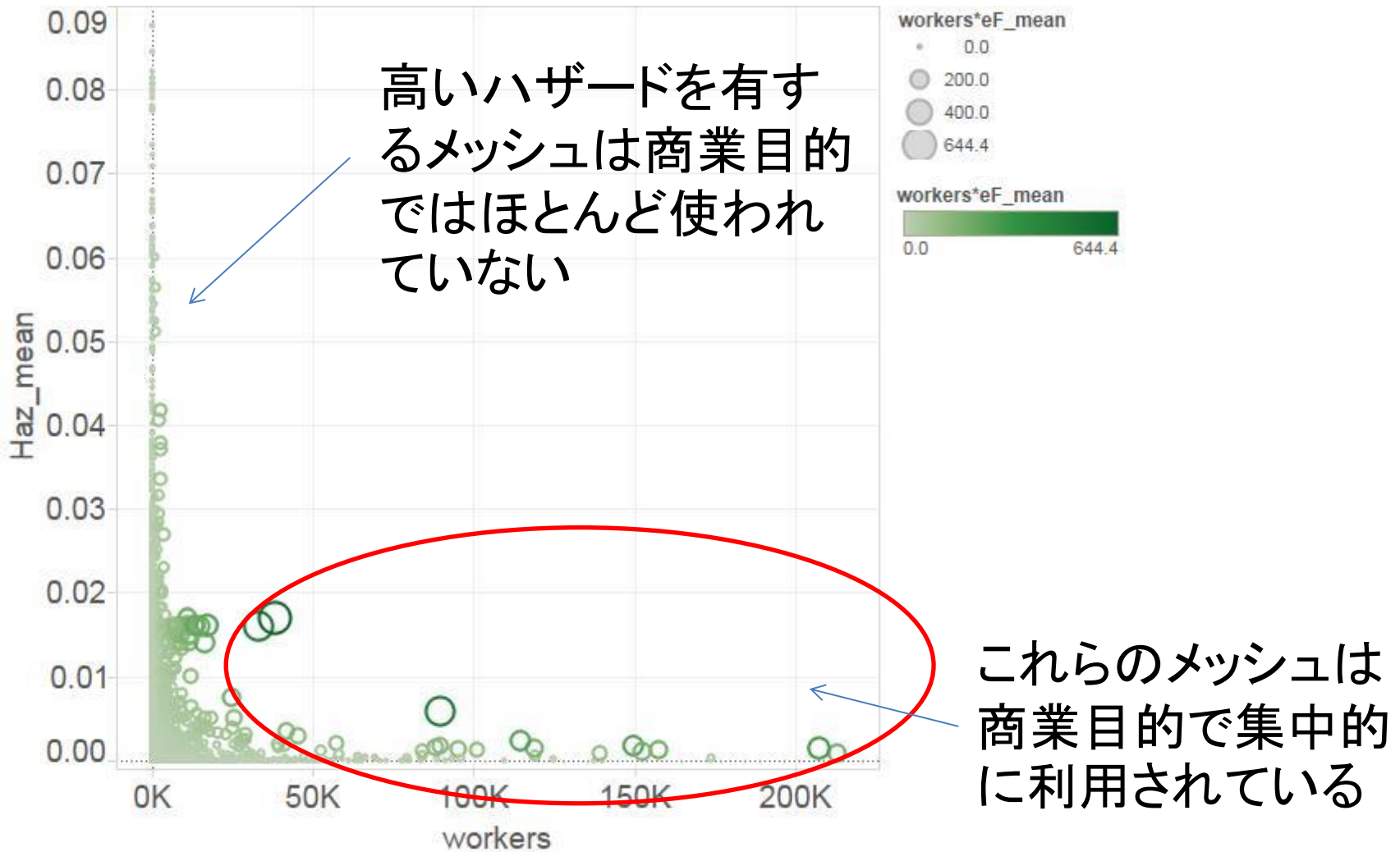
# ハザードと人口(2010)の関係



色の濃さと○の大きさは物理的エクスポージャーに対応する

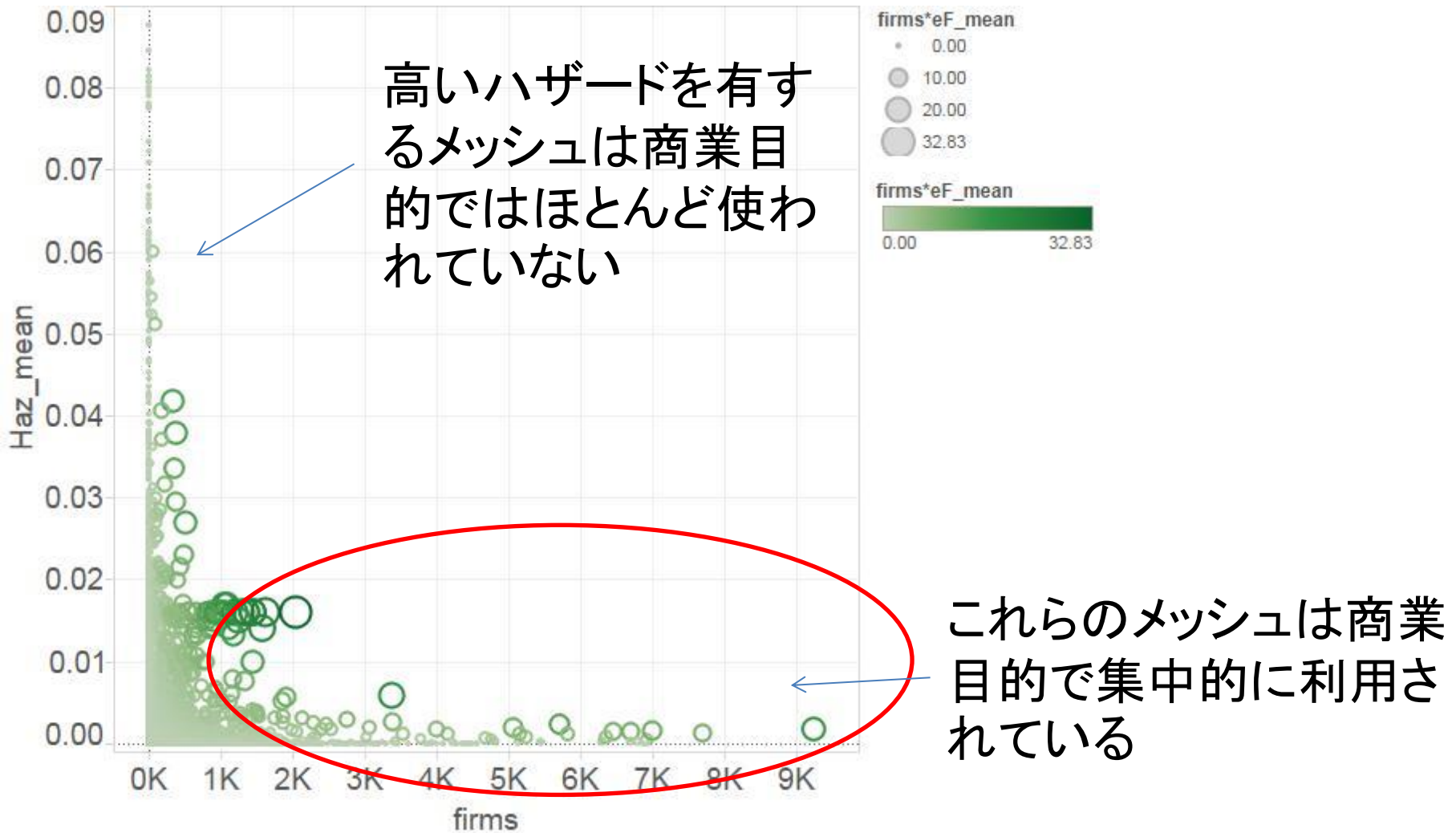


# ハザードと従業者数(2012)との関係



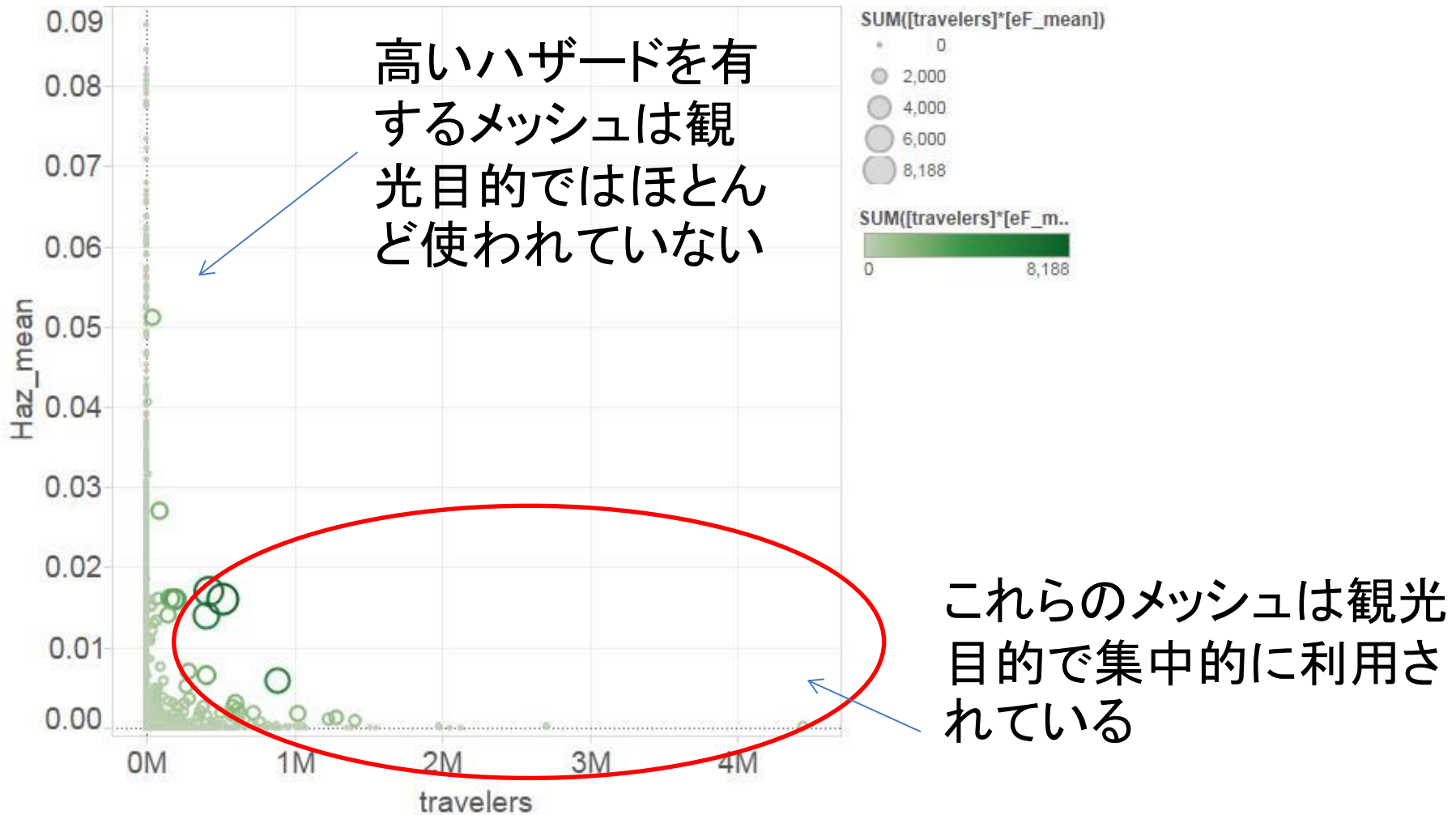
色の濃さと○の大きさは物理的エクスポージャーに対応する

# ハザードと事業所数(2012)との関係



色の濃さと○の大きさは物理的エクスポージャーに対応する

# ハザードと 年間旅行者数(2013)との関係



色の濃さと○の大きさは物理的エクスポージャーに対応する

# まとめ

- 一般化パレート分布のパラメータ推定を行うことにより津波上陸確率のハザードの外挿方法を確立した
- 並列計算によりハザードのメッシュ統計を計算する方法を提案した
- 政府統計メッシュデータを用いることにより社会経済データに対する物理的エクスポージャーのメッシュ統計を構成した
- 2010年国勢調査人口、2012年経済センサス(事業所、労働者数)、2013年宿泊旅行統計(年間旅行者数)を用い物理エクスポージャーの3次メッシュ統計を得た