二次医療圏でみた医療提供能力の比較

静岡理工科大学情報学部
コンピュータシステム学科3年
大場春佳

数理システムユーザーコンファレンス2017

はじめに

- 少子高齢化社会の中，医療サービスは重要な事案
- 各都道府県では，
  医療介護総合確保推進法によって地域医療構想を策定
- しかし二次医療圏には地域間格差があるのが実情

↓

- 現在の二次医療圏の実情を捉え，限られた医療資源の中で効率的な二次医療圏の地域構成が必要

全国334の二次医療圏の医療提供能力を比較するため
医療機関が来院する患者に対して医療サービスが提供可能かをオープンデータを用いて分析する

医療圏とは？

地域の実情に応じた医療を提供する体制を確保するために、
都道府県が設定する地域単位

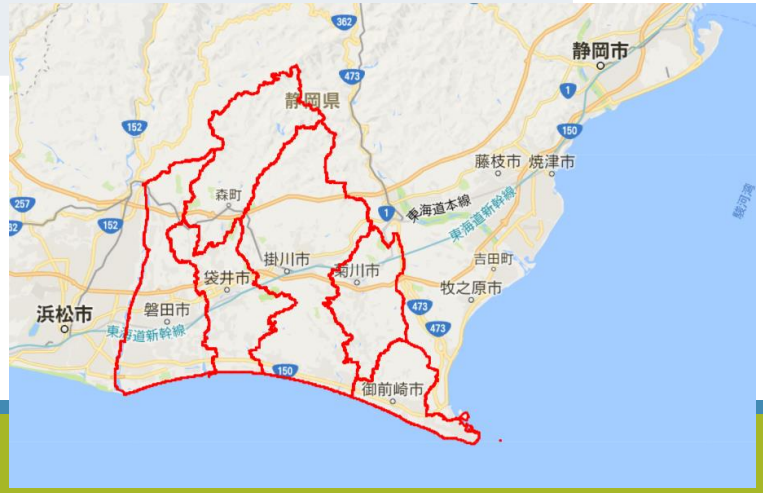
- 一次医療圏
  日常生活に密着した保健医療を提供する
  （基本的に市町村単位）
- 二次医療圏
  健康増進・疾病予防から入院治療まで一般的な保健医療を提供する（複数の市町村）
- 三次医療圏
  先進的な技術を必要とする特殊な医療に対応する
  （基本的に都道府県単位）

二次医療圏情報のデータベース化

表1　利用データ一覧

データ名	出典	内容
国土数値情報医療圏データ	国土交通省国土政策局	二次医療圏情報，人口，65 歳以上人口率
統計でみる市区町村のすがた2016	総務省統計局	病院数，医師数
平成26年患者調査	総務省統計局	推計入院患者数
平成22 年国勢調査（小地域）	総務省統計局	境界線情報

境界線情報を用いて、
地図上に医療圏を可視化



二次医療圏情報のデータベース化

- オープンデータを利用しテーブルを作成

都道府県テーブル

01　北海道
:
22　静岡県
:
47　沖縄県

2次医療圏テーブル

:
2201　賀茂
:
2207　中東遠
　・入院患者数
2208　西部
:

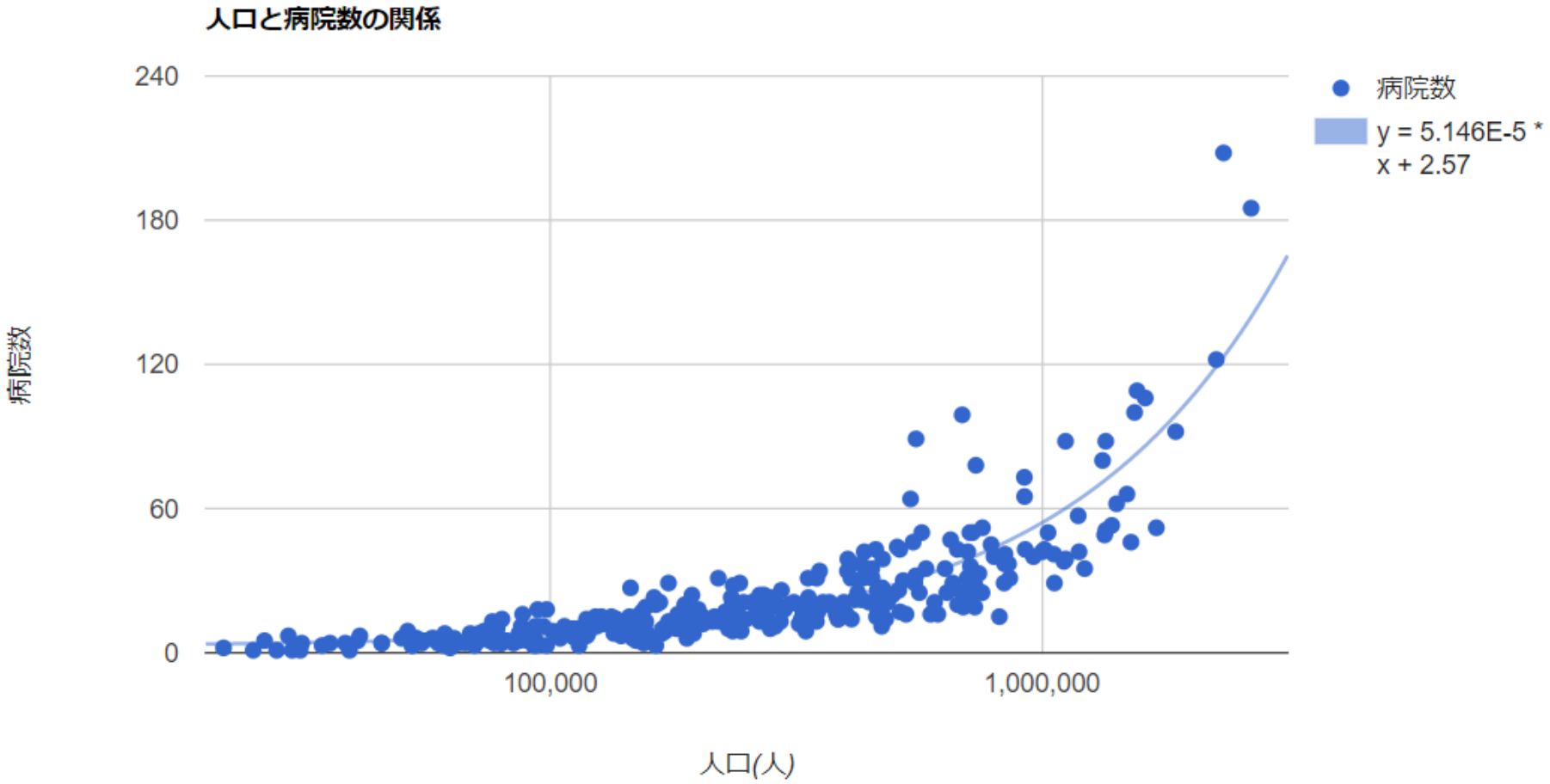
市町村（1次医療圏）テーブル

22211　磐田市
:
22216　袋井市
　・全人口　:84,846
　・65歳以上人口:16,169
　・病院数　:2
　・医師数　:90
:
22461　森町

静岡県中東遠の2次医療圏を対象とした場合に得られる情報例

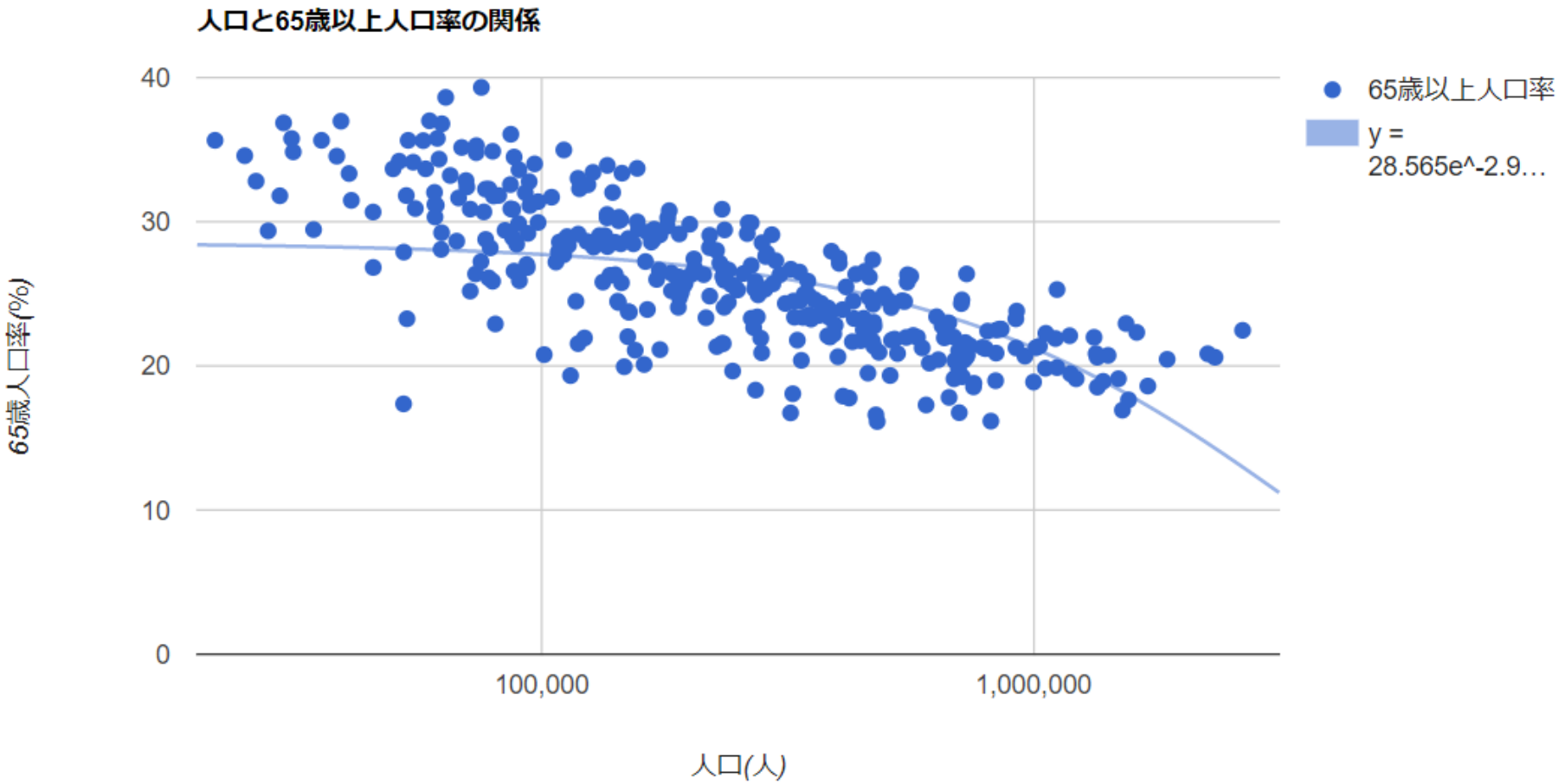
二次医療圏情報の基本解析

- 人口が増えると病院数も指数的に増えている



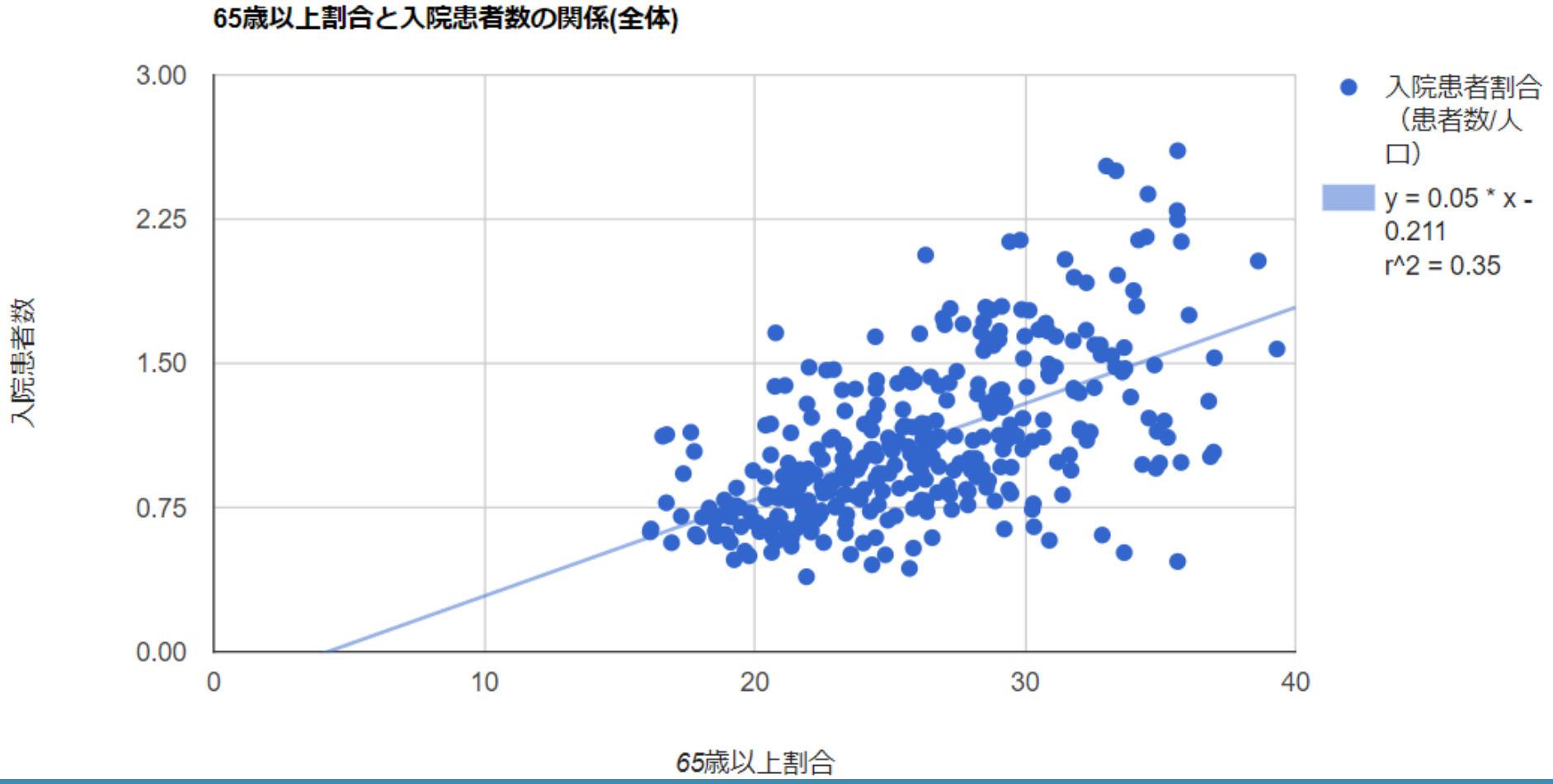
二次医療圏情報の基本解析

- 大都市は65 歳以上人口率が低い



二次医療圏情報の基本解析

- 65歳以上人口と入院患者には緩やかな正の相関



医療提供能力の比較

本研究では、医療提供能力の比較方法を2つ行う。

患者発生を

① 65歳以上人口率をパラメータとして行う

② 入院患者数をパラメータとして行う

患者発生を
65歳以上人口率をパラメータとする場合

確率過程の適用

- 確率過程を適用し、医療提供能力を評価

- 患者の発生
  各2次医療圏で決まる患者発生率λ_i をパラメータとするポアソン過程で発生すると仮定

$$\lambda_i = p_i \cdot r_i / 24 (\text{人}/\text{時})$$

λ_i: ２次医療圏コードiでの患者発生率（人/時）
p_i：２次医療圏コードiの人口
r_i：２次医療圏コードiでの65 歳以上人口率

確率過程の適用

- サービス率の設定
  医者一人当たりの平均診療時間S_iを5 分（1/12 時間）

$$\mu_i = \frac{\sum_{j \in Z_i} h_j}{S_i \cdot \sum_{j \in Z_i} d_j}$$

Z_i：２次医療圏コードiに属する市町村集合
μ_i: ２次医療圏コードiでのサービス率
S_i：２次医療圏コードiの平均診療時間（時）
h_j：２次医療圏コードjの病院数
d_j：２次医療圏コードjの医師数数

確率過程の適用

- 各二次医療圏に対する平均系内人数

$$L_i = Q_i + \alpha_i$$

$$Q_i = \frac{c_i^{c_i} \rho_i^{c_i+1}}{c_i!(1-\rho_i)^2} p_0^i$$

$$\alpha_i = \lambda_i / \mu_i,$$

- 利用率は以下のように定義する

$$\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}$$

Q_i: ２次医療圏コードiでの平均待ち人数（人/時）
λ_i: ２次医療圏コードiでの患者発生率（人/時）
μ_i: ２次医療圏コードiでのサービス率
c_i：２次医療圏コードiでの病院数
ρ_i：２次医療圏コードiでの利用率

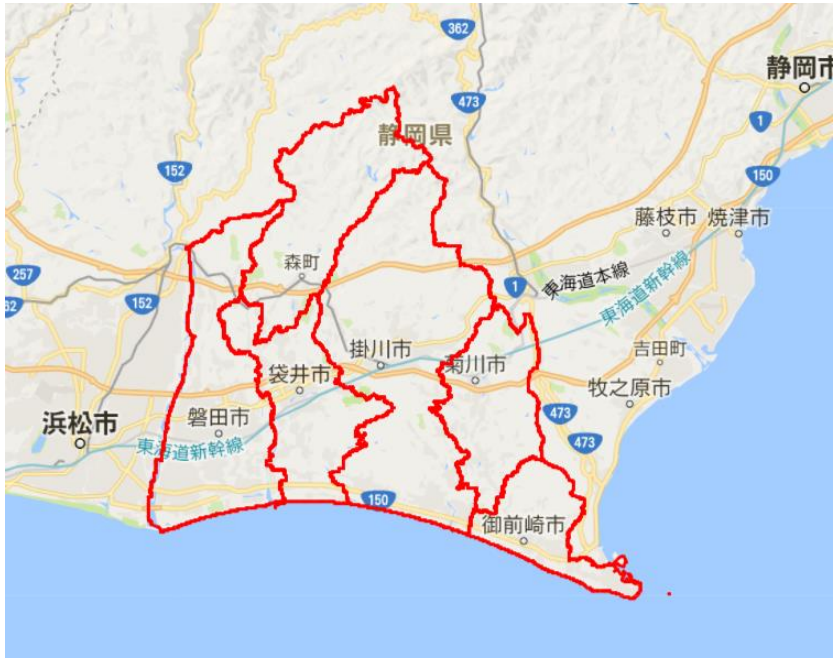
確率過程の適用

- 中東遠（静岡県）で計算を行うと…

患者発生率λ_i　：4263.208
サービス率μ_i　：546
病院数c_i　：14

利用率ρ_i　：0.557
μ_i ：

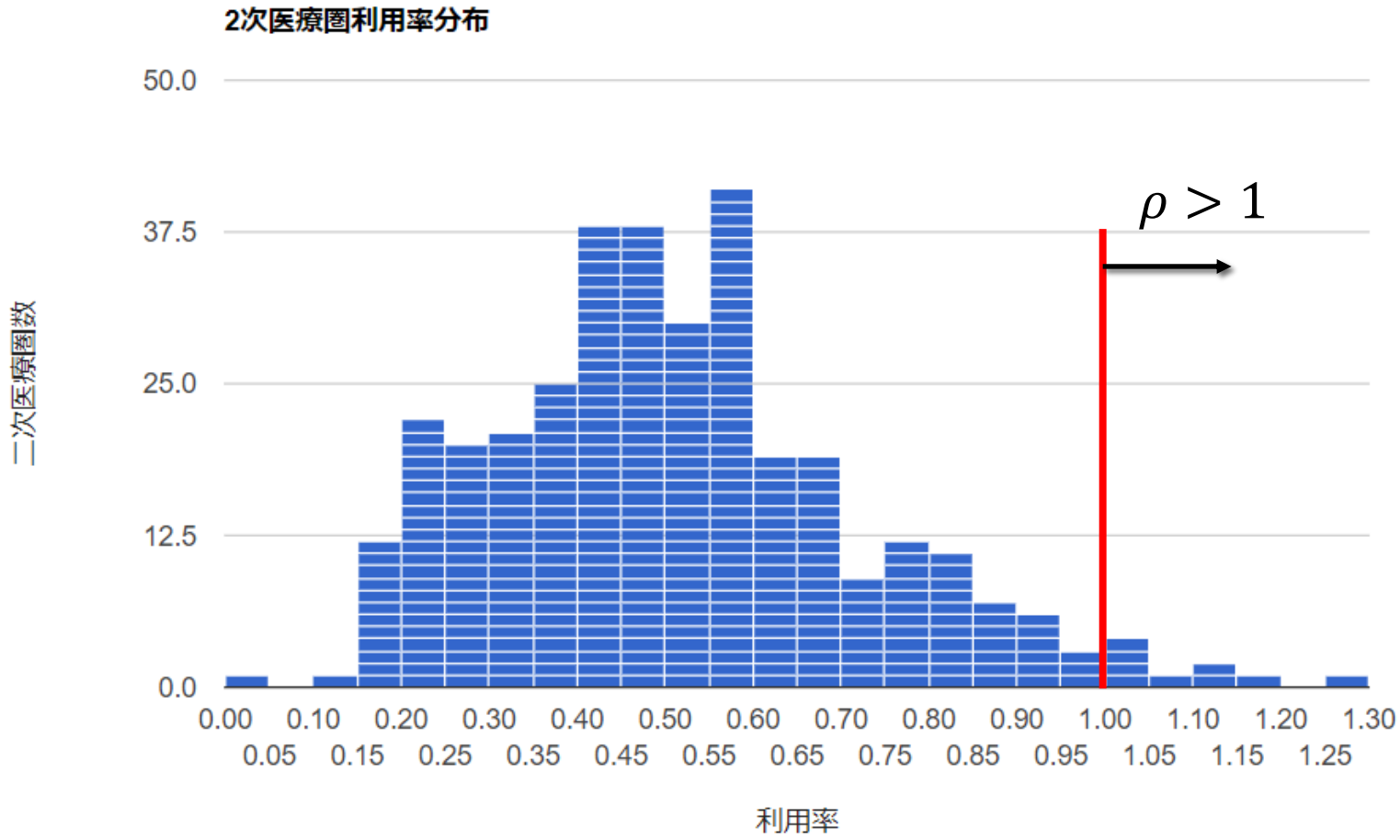
平均系内人数L_i（人）：0.041
平均系内時間U_i(時)：0.002



安定的な医療提供が可能

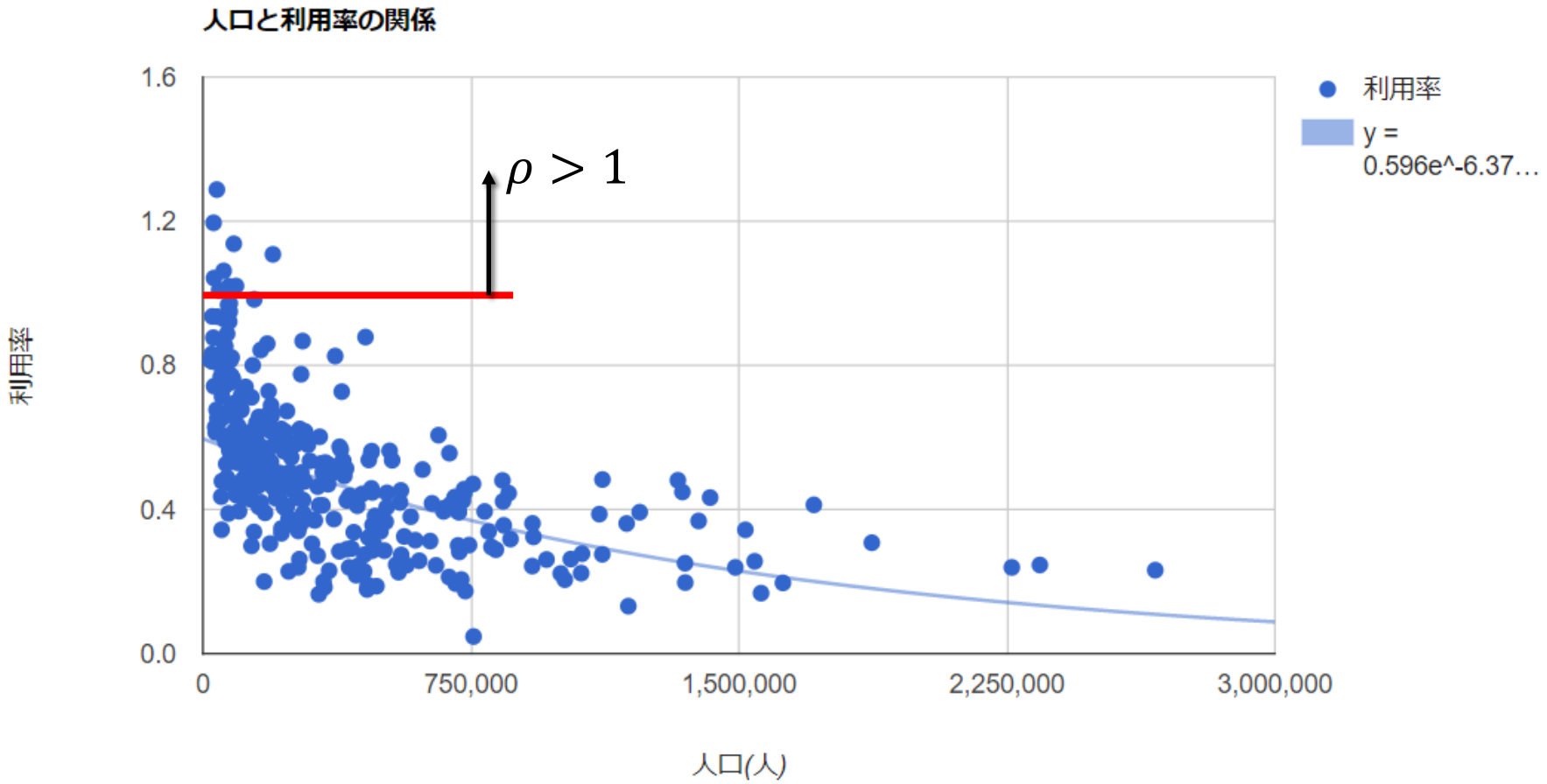
確率過程の適用

- 9つの２次医療圏で安定的な医療提供ができない



二次医療圏に対する医療提供能力の比較

- 人口が少ない二次医療圏ほど、利用率が高い



二次医療圏構成地域の改善

- 方針：
  $\rho > 1$ となった２次医療圏に対し，隣接する市町村を組み入れる

項目	内容
目的関数	2次医療圏すべてのρ_iの分散を最小化
地域構成組み換え	$\rho_i > 1$の二次医療圏に隣接する市町村を組込
地域構成組み換え率	確率0.25で組み換え
地域構成案数	100案作成した中で改善案を選択

二次医療圏構成地域の改善

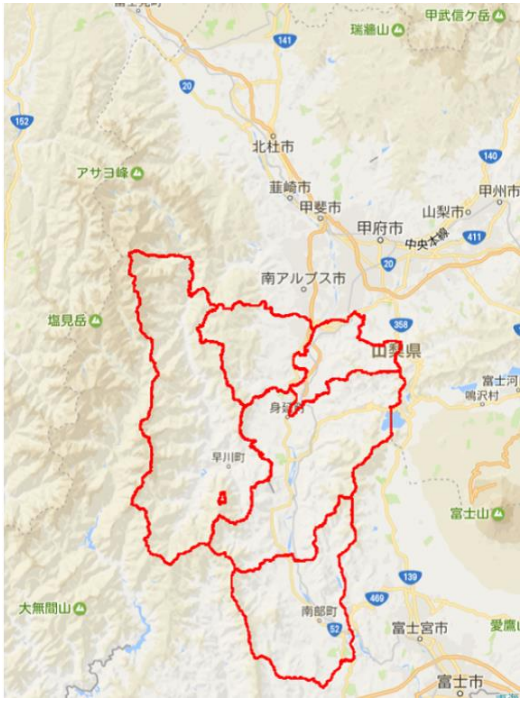
●改善案

利用率分散を下げることに成功
→合わせて、利用率平均 、ρ_i>1の二次医療圏数も減少

項目	利用率平均	利用率分散	ρ_i>1の二次医療圏数
現状	0.5138	0.0436	9
改善案	0.5059	0.0412	5

二次医療圏構成地域の改善

●再構成の例（山梨県峡南）



山梨県峡南の現在の構成地域
利用率ρ_i :1.062

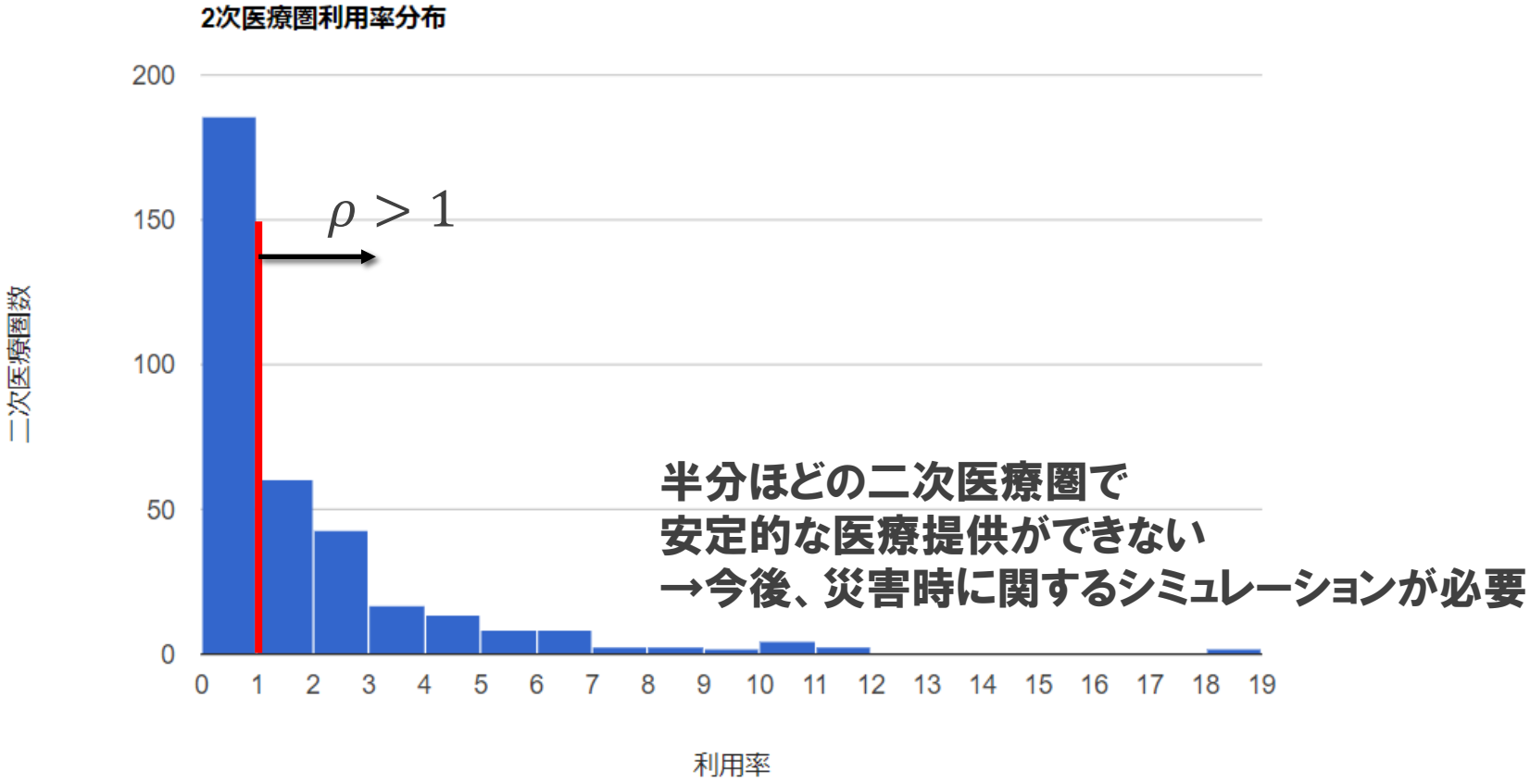
甲府(中北)が組み入れ

山梨県峡南の構成地域改善案
利用率ρ_i :0.335

＊甲府市があった山梨県中北の利用率は甲府市の移動により0.285から0.306に変化
→再構成後も安定した医療能力が提供できる

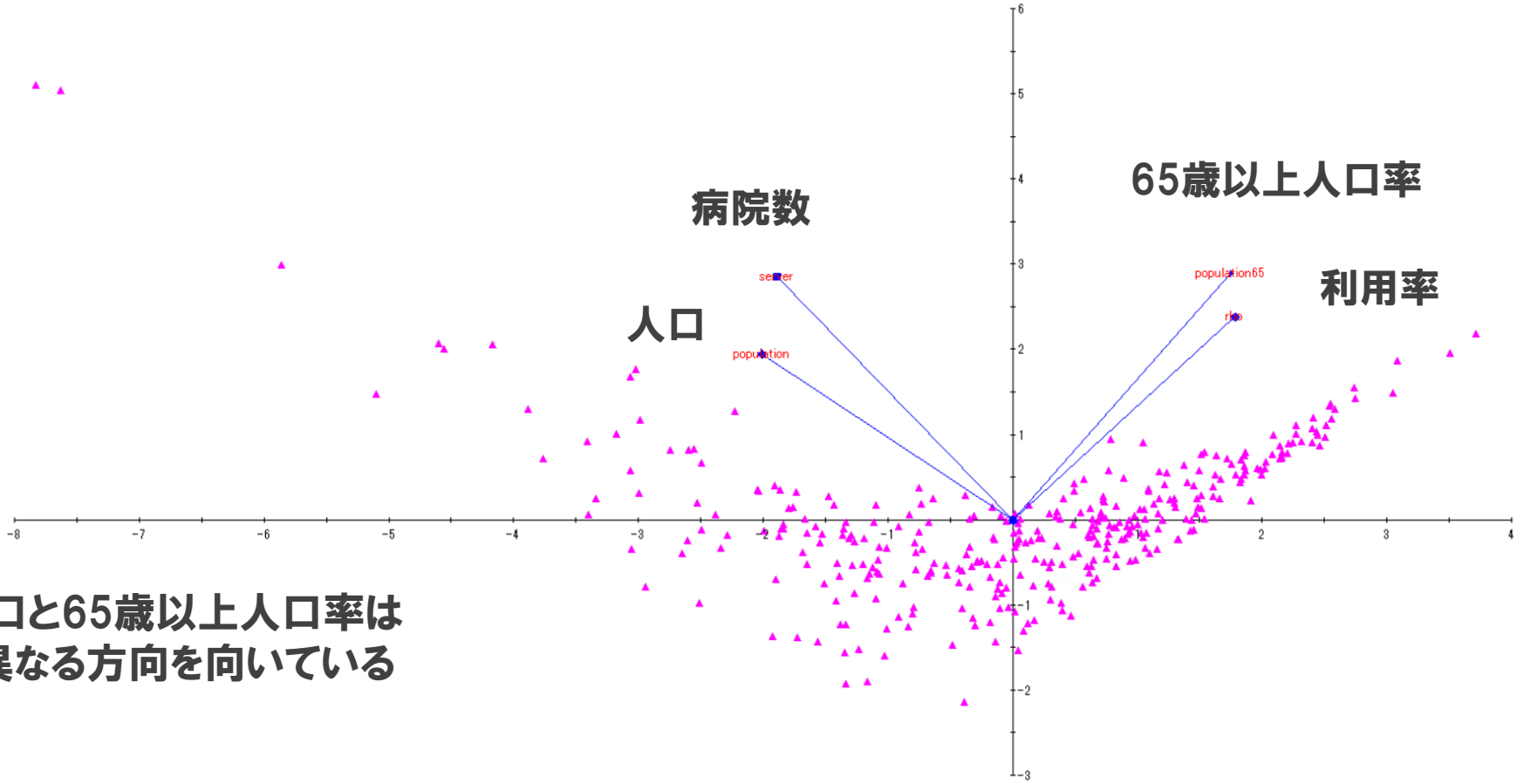
DPC病院のみの利用率

- 仮定：大災害時、DPC病院のみしか稼働しなかった場合
  DPC病院：DPC制度が認められた病院。主に大病院。



主成分分析

- 病院数,人口と65歳以上人口率,利用率は似ている



人口と65歳以上人口率は
異なる方向を向いている

患者発生を
入院患者数をパラメータとする場合

確率過程の適用

- 確率過程を適用し、医療提供能力を評価
- 患者の発生
  各2次医療圏の入院患者数をパラメータとするポアソン過程で発生すると仮定

$$\lambda_i = N_i/24$$

- サービス率の設定
  医者一人当たりの平均診療時間Sを15 分

$$\mu = S/60 = 0.25$$

λ_i: ２次医療圏コードiでの患者発生率（人/時）
N_i：２次医療圏コードiでの入院患者数（人/日）
μ ：サービス率
S ：平均診療時間（分）

確率過程の適用

- 利用率

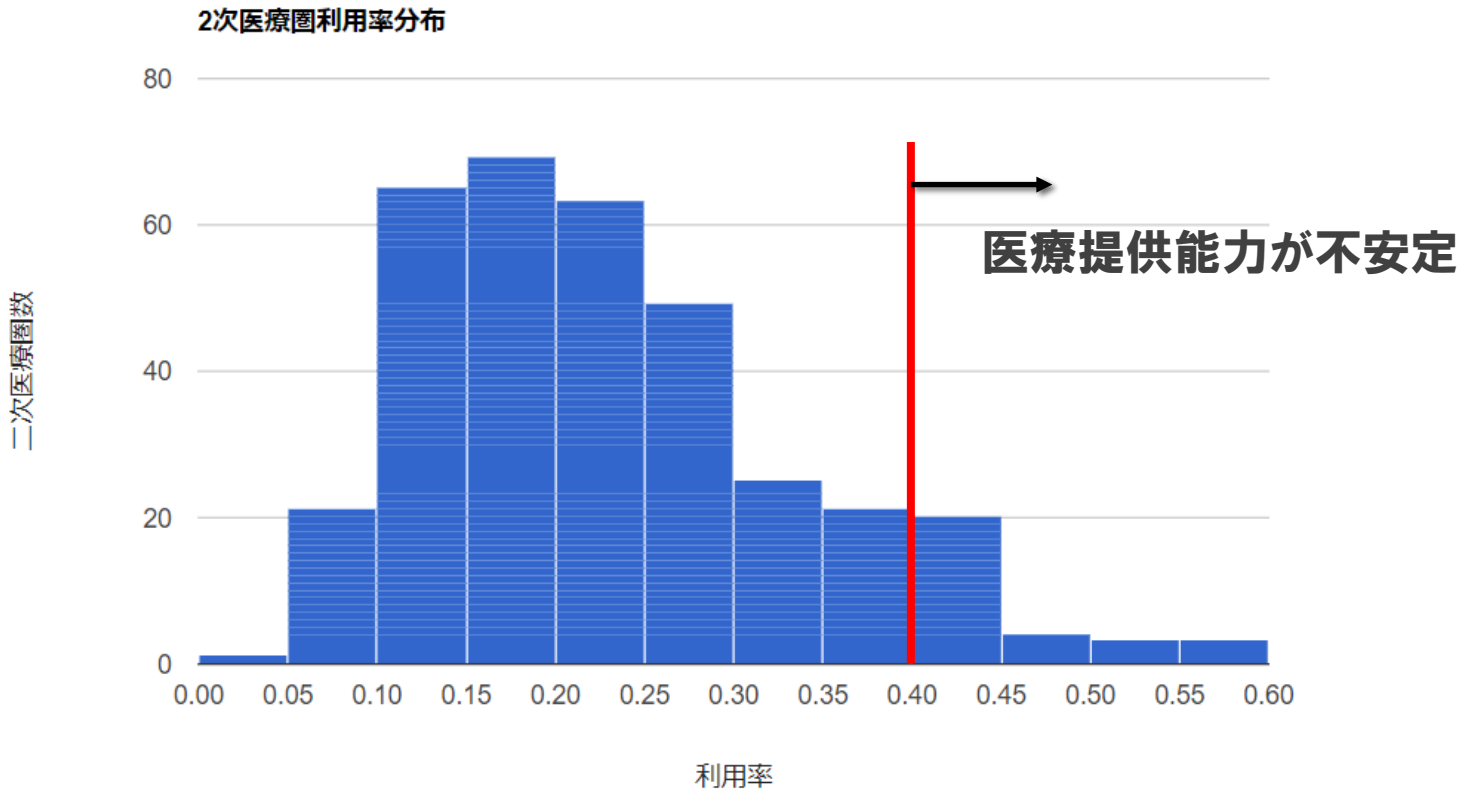
今回の対象は外科とし、
患者対応する医師は医師数（二次医療圏内すべての医師数） d_iに外科医師割合mを掛けたものとした
今回は$m = 0.3$で計算

$$\rho_i = \frac{\lambda_i \cdot \mu}{d_i \cdot m}$$

ρ_i ：利用率
μ ：サービス率
λ_i: ２次医療圏コードiでの患者発生率（人/時）
d_i: ２次医療圏コードiでの医師数
m : 外科医師割合

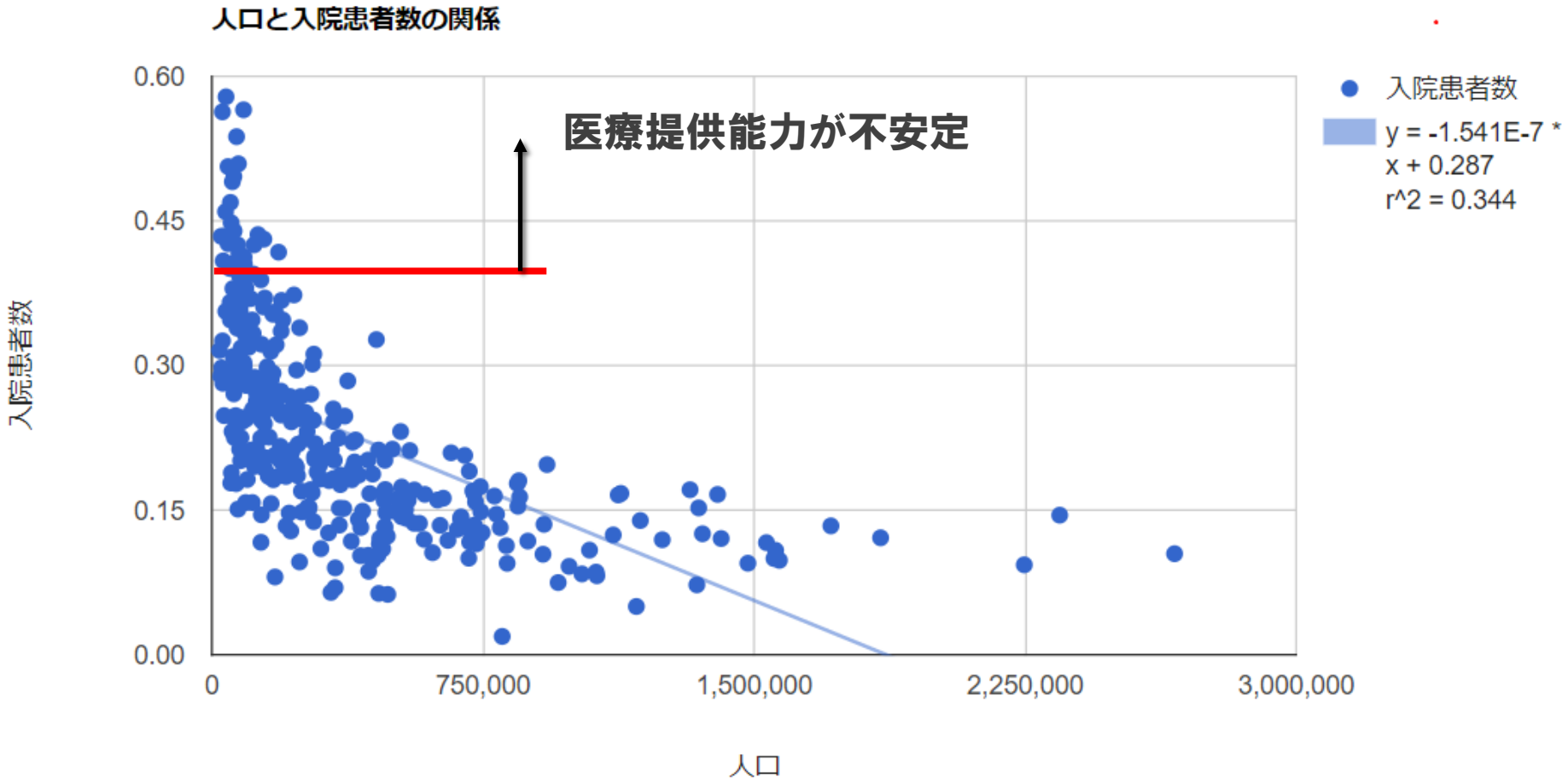
二次医療圏に対する医療提供能力の比較

- 仮定：
今回は、利用率が0.4を超える二次医療圏を医療提供が不安定な地域とする



二次医療圏に対する医療提供能力の比較

- 人口が少ないと利用率が高い



患者需要の再分配

- 方法
  隣接する二次医療圏で、二次医療圏外人口を分配

  今回は、北海道の5つの二次医療圏内を対象とする

患者需要の再分配

- 対象とする二次医療圏データ

南檜山,北渡島檜山で利用率が0.4を超えている
利用率の分散：0.0236

二次医療圏	患者総数（千人）	利用率	発生率	サービス率	医師数	二次医療圏内患者数(千人)	二次医療圏外患者数(千人)
南渡島	5.8	0.223	241.67	0.25	904	5.5	0.2
南檜山	0.4	0.434	16.67	0.25	32	0.2	0.2
北渡島檜山	0.8	0.579	33.33	0.25	48	0.6	0.3
札幌	28.4	0.145	1183.33	0.25	6813	27.8	0.6
後志	4.6	0.373	191.67	0.25	428	3.4	1.1

患者需要の再分配

- 目的関数
  対象二次医療圏の利用率の分散を最小化

- 患者の再分配
  二次医療圏外患者数を、隣接している医療圏へ分配

よって、患者発生率は

$$\lambda_i = (N_i + \sum_{k \in \Omega_i} (o_{ki} - e_{ik}))/24$$

λ_i: ２次医療圏コードiでの患者発生率（人/時）
N_i：２次医療圏コードiでの入院患者数（総数）（人/日）
o_{ki}：２次医療圏コードiでの流入二次医療圏外患者数（人/日）
e_{ik}：２次医療圏コードiでの流出二次医療圏外患者数（人/日）
Ω_i：２次医療圏コードiでの隣接二次医療圏集合

患者需要の再分配

- 制約条件
  流出する患者数は、二次医療圏外患者数のみとする

$$\sum_{k \in \Omega_i} e_{ik} \leq E_i$$

$$e_{ik} \geq 0$$

E_i：２次医療圏コードiでの現在の二次医療圏外患者数（人/日）
e_{ik}：２次医療圏コードiでの流出二次医療圏外患者数（人/日）
Ω_i：２次医療圏コードiでの隣接二次医療圏集合

- その他の数式は、利用率計算時のものを使用

患者需要の再分配

- 最適化には、Numerical Optimizerを使用

二次医療圏.smp　二次医療圏.dat

```
//配列
//idの定義
Set Id(name="id");
Element id1(set=Id);
Element id2(set=Id);
Parameter s(name="総数",index=(id1));
Parameter d(name="医者の数",index=(id1));
Parameter mu = 0.25;//サービス率
Parameter e(name="二次医療圏外数",index=(id1));
Parameter n(name="隣接",index=(id1,id2),type=binary);

Variable o(name="入出",index=(id1,id2));

Expression x(name="新しい総数",index=(id1));
x[id1]=s[id1]-e[id1]+sum(n[id2,id1]*o[id2,id1],id2);
Expression nowro(name="現状の利用率",index=(id1));
nowro[id1]=(s[id1]*1000/24)*mu/(d[id1]*0.3);
Expression ro(name="利用率",index=(id1));
ro[id1]=(x[id1]*1000/24)*mu/(d[id1]*0.3);

Objective v(name="分散",type=minimize);
v = sum(ro[id1],id1);

//制約条件
o[id1,id2] >= 0;
sum(n[id1,id2]*o[id1,id2],id2) == e[id1];

solve();
```

患者需要の再分配

- 最適化後の二次医療圏外人口の結果

二次医療圏外人口の移動

南檜山,北渡島檜山→南渡島へ

五志→札幌へ

受け入れ先二次医療圏

もとの二次医療圏

二次医療圏外患者数（千人）	南渡島	南檜山	北渡島檜山	札幌	後志
南渡島	0.2	0	0	0	0
南檜山	0.2	0	0	0	0
北渡島檜山	0.3	0	0	0	0
札幌	0	0	0	0.6	0
後志	0	0	0	1.1	0

患者需要の再分配

●再分配（最適化）後の対象データ

利用率の分散：0.0049（再分配前： 0.0236）

となり、利用率の最適化を行うことができた

二次医療圏	患者総数（千人）	利用率	発生率	サービス率	医師数	二次医療圏内患者数（千人）	二次医療圏外患者数（千人）
南渡島	6.2	0.242	262.50	0.25	904	5.5	0.7
南檜山	0.2	0.217	8.33	0.25	32	0.2	0.0
北渡島檜山	0.6	0.362	20.83	0.25	48	0.6	0.0
札幌	29.5	0.150	1229.17	0.25	6813	27.8	1.7
後志	3.4	0.284	145.83	0.25	428	3.4	0.0

再分配により変化した値

患者需要の再分配

- 結果より
患者数（二次医療圏外）を誘導することができれば、
各2次医療圏での医療サービスが安定する

➡ 移動手段,居住地から病院までの距離を考慮する必要

さいごに

- 本研究では二次医療圏における医療提供能力の比較を，医療機関が来院する患者に対して医療サービスが提供可能か，オープンデータを用いて分析
- 全国の二次医療圏での解析が可能に
- 様々な視点でのデータの可視化
- 2種類での医療提供能力評価から最適化を実施し、患者再分配の提案

- 今後
  - ・位置情報を利用した、より現実的なシュミレーション
  - ・災害時が起きた場合の
    二次医療圏の医療提供能力の評価、改善