

3-3. 診療科目データ (PMTBL)

No	項目名称	データ型	サイズ	備考
1	診療科目コード	文字	3	半角数字 ※診療科目名一覧参照
2	診療科目名	文字	20	全角文字 ※診療科目名一覧参照

診療科目名一覧

診療科目コード	診療科目名	診療科目コード	診療科目名	診療科目コード	診療科目名
001	内科	018	胸部外科	035	性病科
002	循環器科	019	腹部外科	036	放射線科
003	呼吸器科	020	呼吸器外科	037	麻酔科
004	消化器科	021	消化器外科	038	リハビリテーション科
005	胃腸科	022	形成外科	039	アレルギー科
006	肝臓科	023	美容外科	040	リウマチ科
007	神経内科	024	小児外科	041	歯科
008	腎臓内科	025	皮膚科	042	小児歯科
009	心療内科	026	皮膚泌尿器科	043	矯正歯科
010	血液内科	027	泌尿器科	044	歯科口腔外科
011	小児科	028	産婦人科	045	内分泌科
012	精神科	029	産科	046	内視鏡科
013	神経科	030	婦人科	047	人工透析科
014	外科	031	耳鼻咽喉科		
015	整形外科	032	気管食道科		
016	脳神経外科	033	眼科	900	その他
017	心臓血管外科	034	肛門科	999	未調査・不明

特殊設備名一覧

No	特殊設備名	No	特殊設備名	No	特殊設備名
1	CCU	16	テンパノメトリー	31	高遠らせんCT
2	CT	17	デジタルラジオグラフィ	32	骨塩定量分析装置
3	MRI	18	ハイパーサーミア	33	人工心肺
4	PET	19	ハイパーサーミアF	34	前立腺肥大治療(レーザー)
5	RI	20	ヘリカルCT	35	前立腺肥大治療(高温度療法)
6	RI ガンマーカメラ	21	リニアック	36	超音波診断装置
7	SPECT	22	レーザー	37	超音波診断装置
8	XGT	23	レーザー結石破碎装置	38	電子内視鏡
9	X線テレビ装置	24	胃・大腸内視鏡	39	内視鏡
10	X線撮影装置	25	胃内視鏡	40	乳房撮影装置
11	イマトロン	26	核医学データ処理装置	41	腹腔鏡
12	ガンマーカメラ	27	結石破碎装置	42	マルチスライスCT
13	ガンマナイフ	28	血管造影診断装置	43	ホルター解析装置
14	コバルト遠隔照射装置	29	血管造影撮影装置		
15	サイクロトロン	30	高圧酸素療法(治療)装置		

#### 4. 病院・診療所オプションデータ

##### 4-1. 病院オプションデータ1 (PMHnn@@\_Opt1)

No	項目名称	データタイプ	サイズ	備考
1	シリアルNO	文字	7	半角文字(前ゼロなし) 病院データのシリアルNOに対応 インデックスフィールド
2	開設者名	文字	80	全角半角混在 病院開設者名の氏名
3	院長名	文字	26	全角半角混在 調査時点での院長名
4	出身大学	文字	20	全角半角混在 院長の出身大学名
5	卒業年度	文字	10	半角文字 院長の大学卒業年度 例: S53
6	交通機関	文字	50	全角半角混在 最寄の鉄道駅名等
7	最寄駅	文字	50	全角半角混在 最寄の鉄道駅名等
8	所要時間	文字	80	全角半角混在 最寄駅等からの所要時間
9	URL	文字	150	半角文字 ホームページアドレス
10	日本医療機能評価機構認定病院	文字	1	半角数字 認定の有無 認定:1 未認定:0
11	特定機能指定病院	文字	1	半角数字 認定の有無 認定:1 未認定:0
12	臨床研修指定病院	文字	1	半角数字 認定の有無 認定:1 未認定:0
13	地域医療支援病院	文字	1	半角数字 認定の有無 認定:1 未認定:0
14	災害拠点指定病院	文字	1	半角数字 認定の有無 認定:1 未認定:0
15	労災指定医療機関	文字	1	半角数字 認定の有無 認定:1 未認定:0
16	リハビリテーション施設	文字	1	施設の有無 施設あり:1 施設なし:0
17	人間ドッグ施設	文字	1	施設の有無 施設あり:1 施設なし:0
18	透析施設	文字	1	施設の有無 施設あり:1 施設なし:0
19	一般病床数	2バイト整数	-	一般病床の病床数
20	精神病床数	2バイト整数	-	精神病床の病床数
21	療養型病床数	2バイト整数	-	療養型病床の病床数
22	感染病床数	2バイト整数	-	感染病床の病床数
23	結核病床数	2バイト整数	-	結核病床の病床数

##### 4-2. 病院オプションデータ2 (PMHnn@@\_Opt2)

No	項目名称	データタイプ	サイズ	備考
1	シリアルNO	文字	7	半角文字 病院データのシリアルNOに対応 インデックスフィールド
2	メーカー名	文字	50	全角半角混在 保有する高度医療機器のメーカー名
3	機種名	文字	50	全角半角混在 保有する高度医療機器の機種名
4	備考1	文字	50	全角半角混在 当該高度医療機器の別名や総称名、台数等
5	備考2	文字	50	全角半角混在 当該高度医療機器の別名や総称名、台数等

##### 4-3. 診療所オプションデータ1 (PMCnn@@\_Opt1)

No	項目名称	データタイプ	サイズ	備考
1	シリアルNO	文字	7	半角文字 診療所データのシリアルNOに対応 インデックスフィールド
2	院長名	文字	26	全角半角混在 調査時点での院長名
3	卒業年度	文字	10	半角文字 院長の大学卒業年度 例: S53
4	所属学会情報	文字	254	全角半角混在 院長所属の学会名
5	URL	文字	150	半角文字 ホームページアドレス
6	FAX番号	文字	15	半角文字 "-" ハイフン付き

5. 備考

5-1. 全国版-所要ディスク容量 (MByte)

No	製品名	全国版容量	数
1	病院データ	10.8 MB	8,768
2	診療所データ	46.7 MB	87,696
3	病院オプションデータ 1	4.3 MB	8,768
4	病院オプションデータ 2	3.4 MB	15,493
5	診療所オプションデータ 1	40.5 MB	87,696

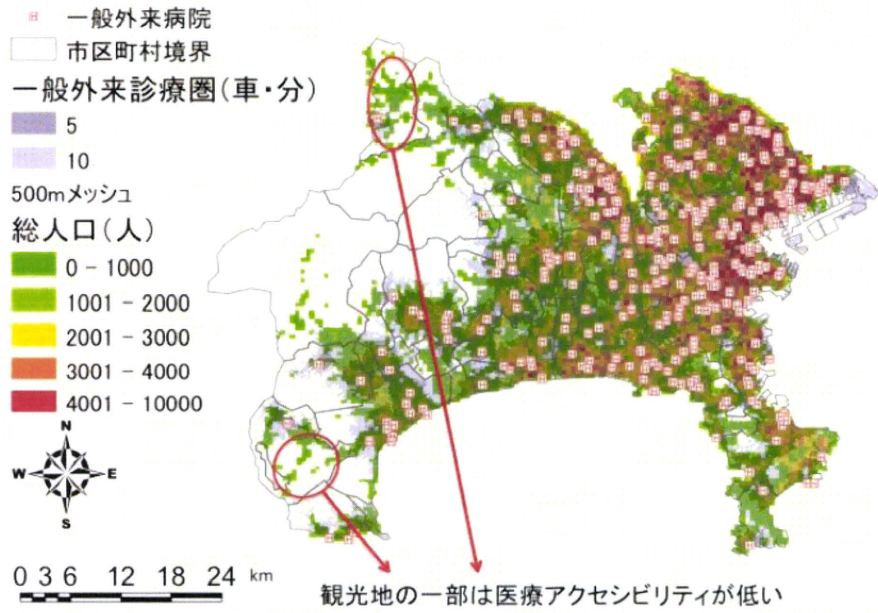
5-2. データ件数

地方名	病院数	診療所数	県	県名称	病院数	診療所数	地方名	病院数	診療所数	県	県名称	病院数	診療所数
北海道	593	2,807	01	北海道	593	2,807	近畿	1,297	17,288	25	滋賀県	60	781
東北	639	5,876	02	青森県	105	867				26	京都府	177	2,319
			03	岩手県	97	801				27	大阪府	537	7,712
			04	宮城県	144	1,442				28	兵庫県	354	4,511
			05	秋田県	78	661				29	奈良県	77	968
			06	山形県	70	813				30	和歌山県	92	997
			07	福島県	145	1,292				31	鳥取県	44	477
関東	2,124	27,328	08	茨城県	191	1,382	中国	679	6,151	32	島根県	57	625
			09	栃木県	112	1,239				33	岡山県	176	1,432
			10	群馬県	139	1,411				34	広島県	253	2,422
			11	埼玉県	357	3,452				35	山口県	149	1,195
			12	千葉県	282	3,103	四国	501	3,059	36	徳島県	119	713
			13	東京都	639	10,841				37	香川県	97	738
			14	神奈川県	345	5,346				38	愛媛県	146	1,099
北陸	428	3,465	15	新潟県	137	1,488	九州	1,641	10,894	39	高知県	139	509
			16	富山県	112	722				40	福岡県	470	4,114
			17	石川県	102	765				41	佐賀県	109	617
			18	福井県	77	490				42	長崎県	166	1,275
中部	865	10,828	19	山梨県	60	554	43	熊本県	218	1,326			
			20	長野県	139	1,400	44	大分県	165	868			
			21	岐阜県	102	1,361	45	宮崎県	144	773			
			22	静岡県	184	2,379	46	鹿児島県	276	1,224			
			23	愛知県	334	4,353	47	沖縄県	93	697			
			24	三重県	106	1,335	全国						

出典：国際航業(株)

図 5 病院・診療所データの概要

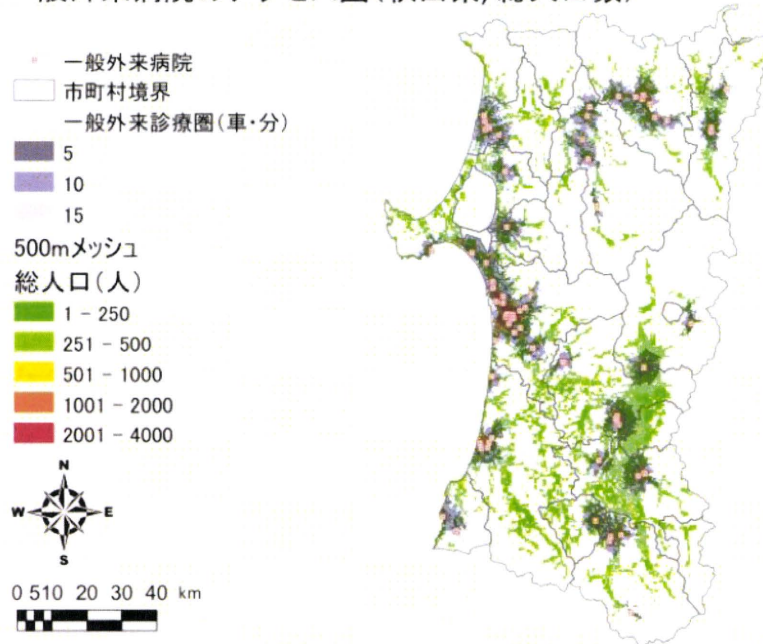
一般外来病院のアクセス圏(神奈川県, 総人口数)



出典：筆者作成

図 6 一般外来病院のアクセス圏(総人口数、神奈川県)

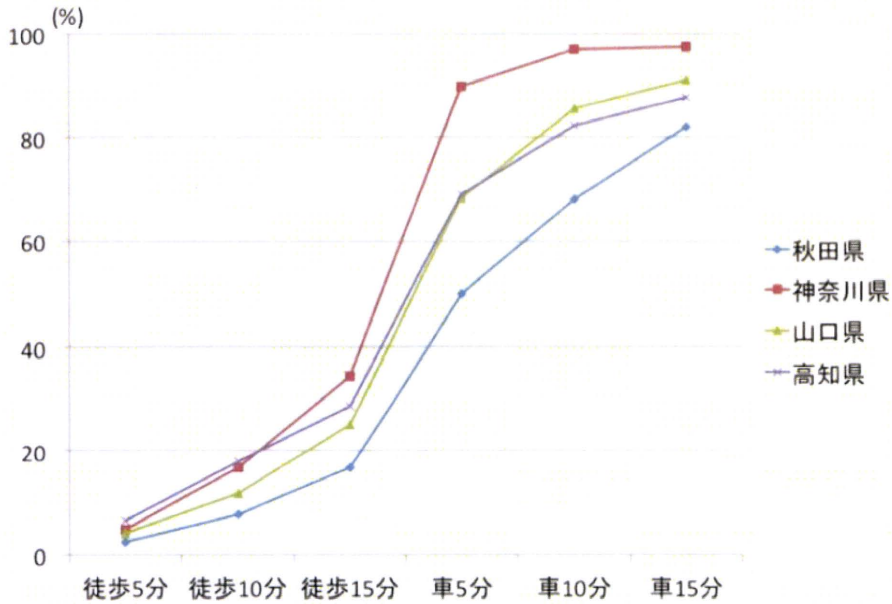
一般外来病院のアクセス圏(秋田県, 総人口数)



出典：筆者作成

図 7 一般外来病院のアクセス圏(総人口数、秋田県)

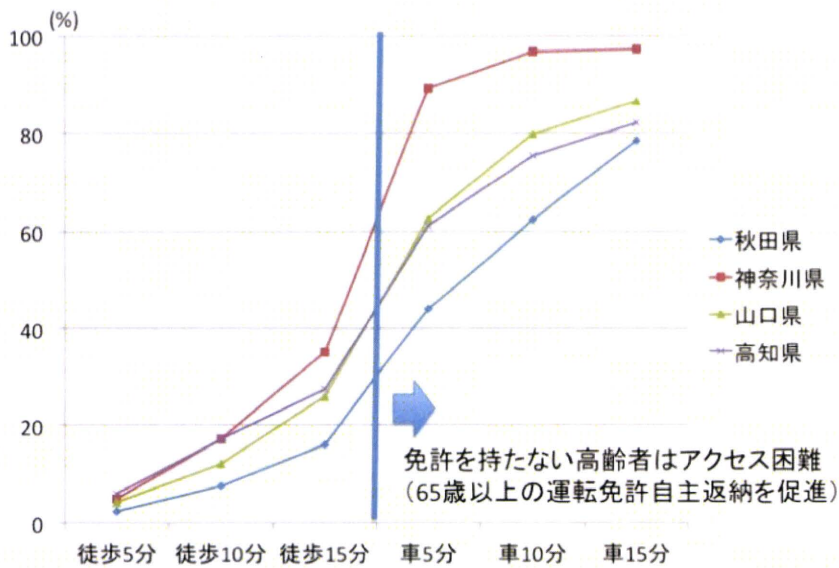
## 一般外来病院のアクセス圏(総人口)



出典：筆者作成

図 8 一般外来病院のアクセス圏(総人口)

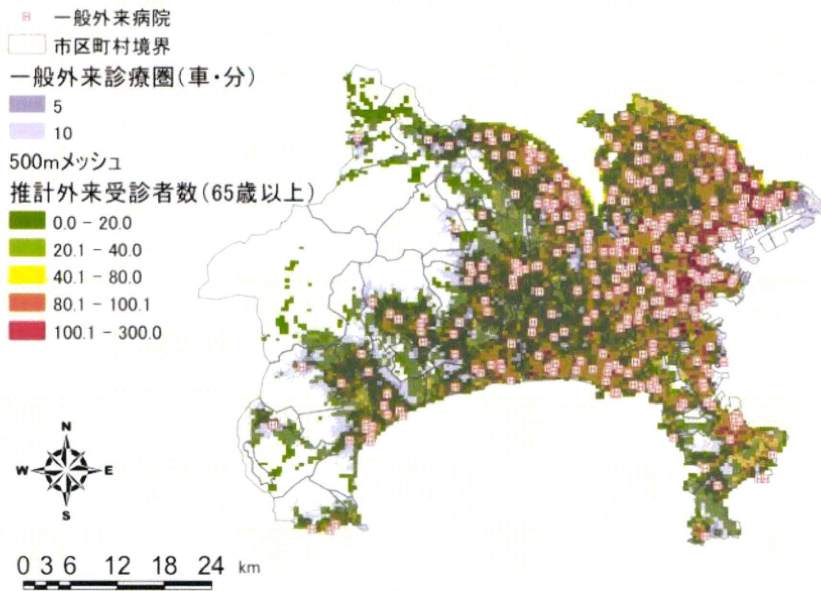
## 一般外来病院のアクセス圏(65歳以上人口)



出典：筆者作成

図 9 一般外来病院のアクセス圏(65歳以上外来受診人口推計値)

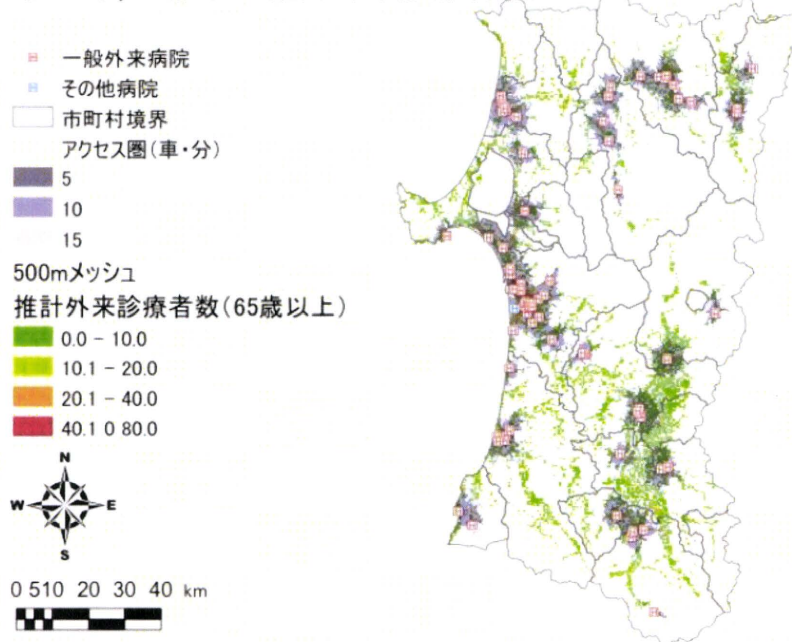
一般外来病院のアクセス圏  
(神奈川県, 65歳以上推計外来診療者数)



出典：筆者作成

図 10 一般外来病院のアクセス圏 (65歳以上外来受診人口推計値、神奈川県)

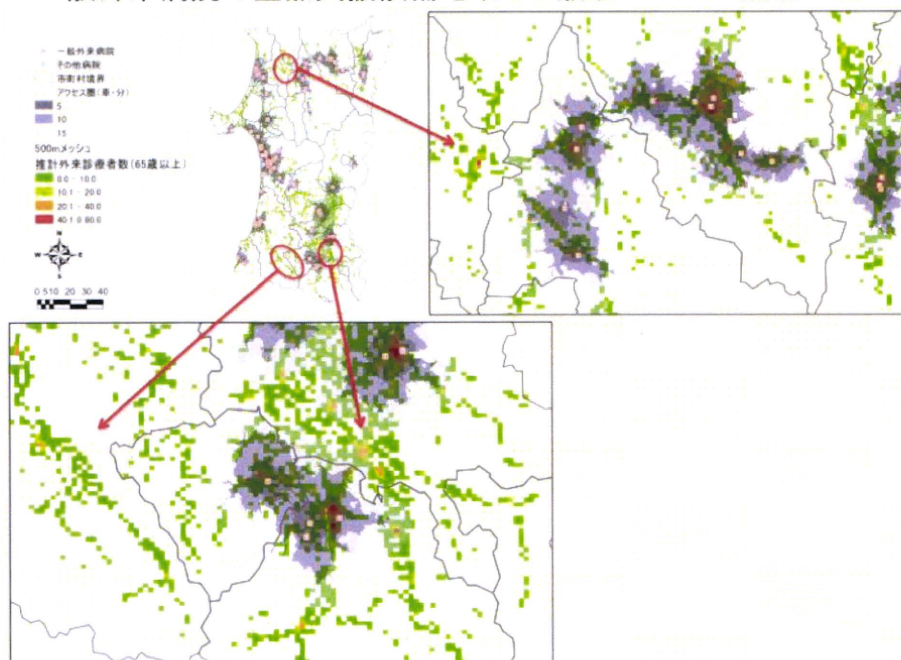
一般外来病院のアクセス圏  
(秋田県, 65歳以上推計外来診療者数)



出典：筆者作成

図 11 一般外来病院のアクセス圏 (65歳以上外来受診人口推計値、秋田県)

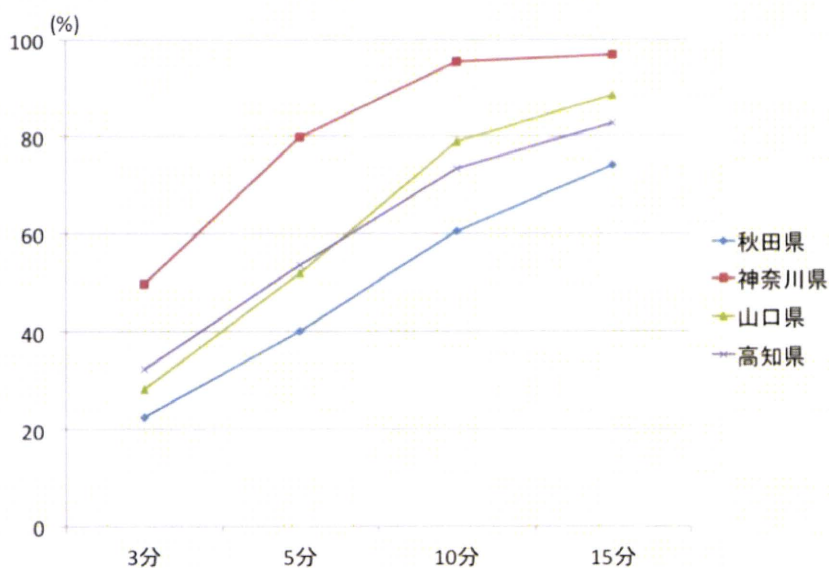
一般外来病院の重点支援候補地域 - 65歳以上人口に焦点 -



出典：筆者作成

図 12 一般外来病院の重点支援候補地（秋田県）

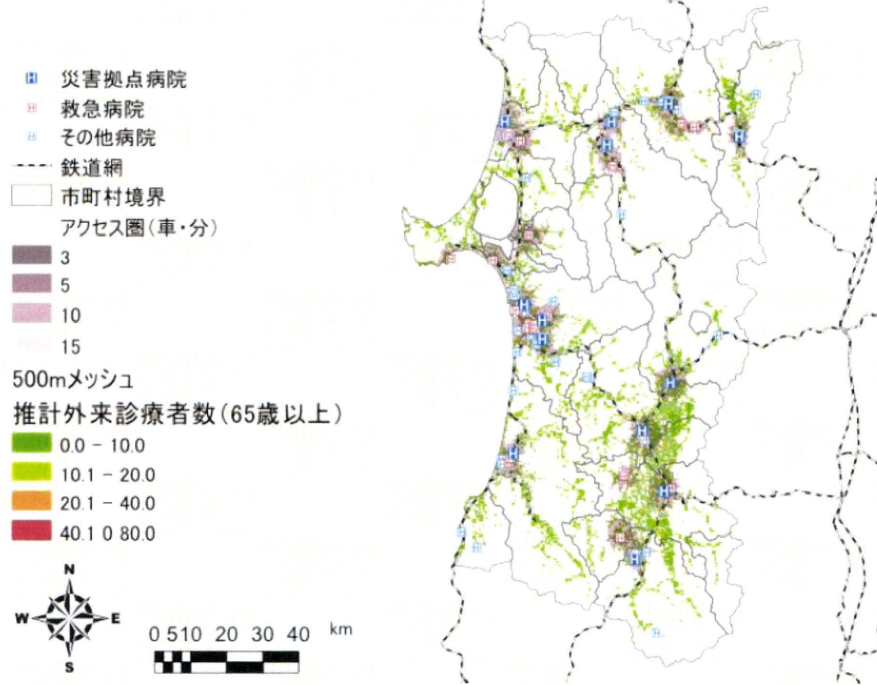
救急病院のアクセス圏(総人口)



出典：筆者作成

図 13 救急搬送指定病院のアクセス圏（総人口）

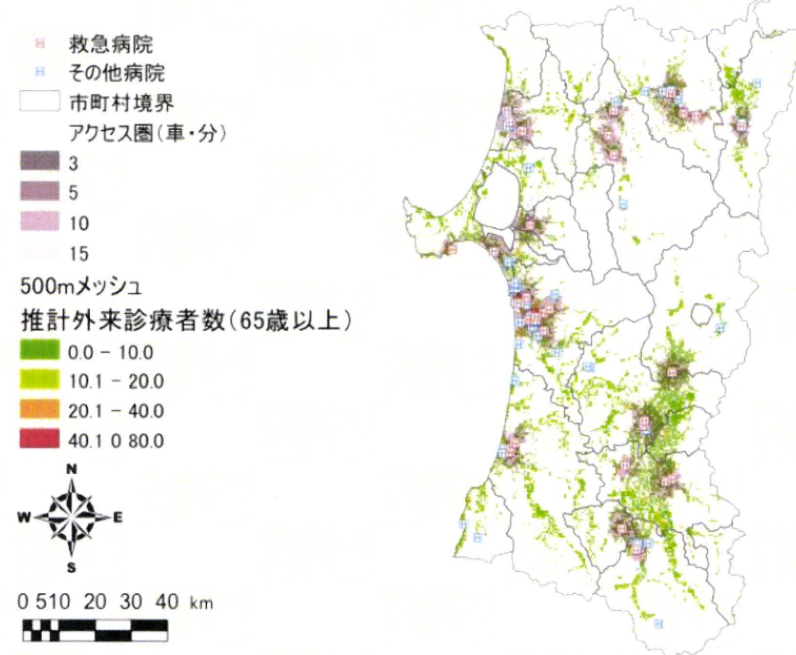
救急病院のアクセス圏(秋田県, 総人口数)



出典：筆者作成

図 14 救急搬送指定病院のアクセス圏(総人口、秋田県)

救急病院のアクセス圏(秋田県, 65歳以上推計外来診療者数)

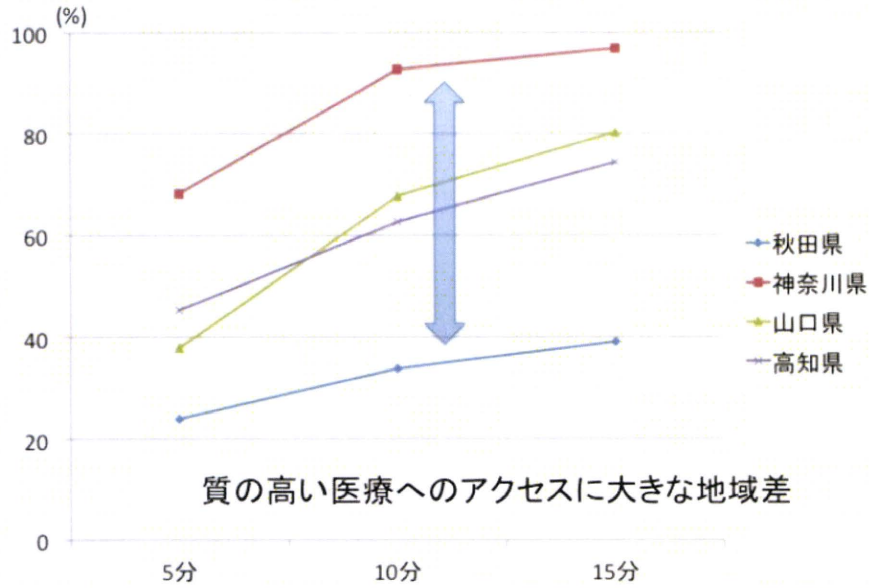


出典：筆者作成

図 15 救急搬送指定病院のアクセス圏(65歳以上外来受診人口推計値、秋田県)



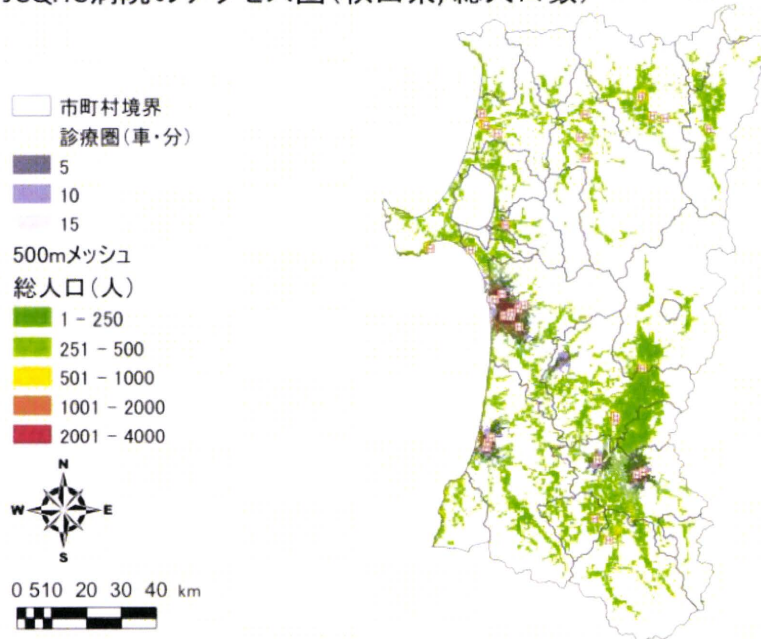
## JCQHC指定病院のアクセス圏(総人口)



出典：筆者作成

図 16 JCQHC 病院のアクセス圏 (総人口)

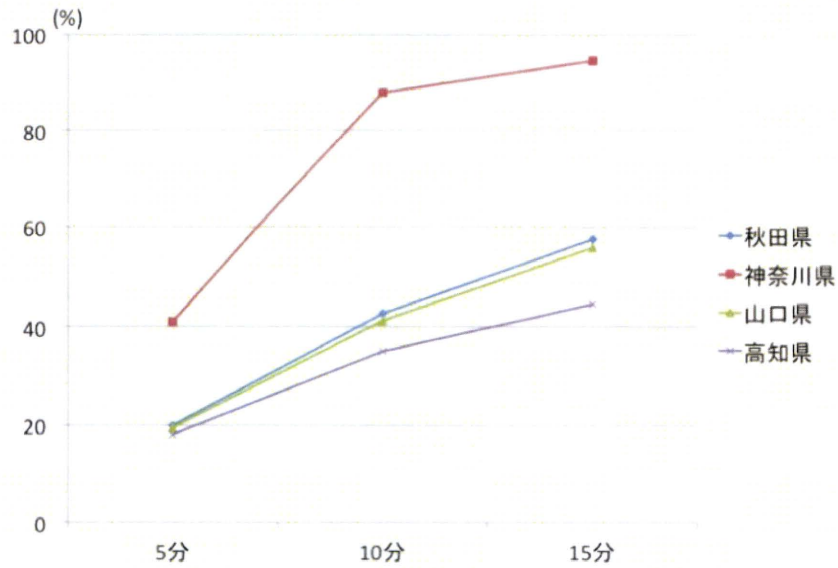
## JCQHC病院のアクセス圏(秋田県, 総人口数)



出典：筆者作成

図 17 JCQHC 病院のアクセス圏 (65 歳以上外来受診人口推計値、秋田県)

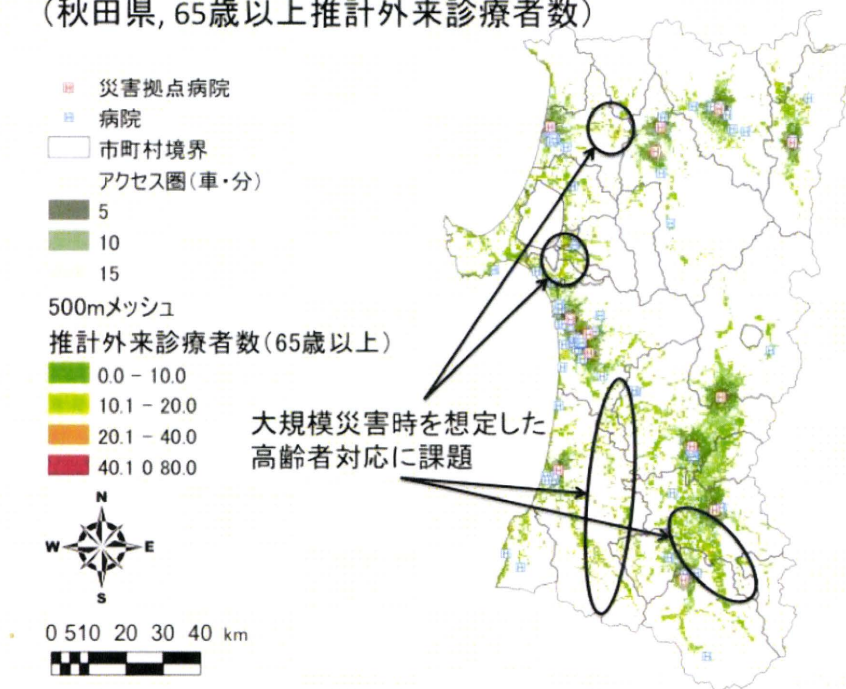
## 災害拠点病院のアクセス圏65歳以上人口



出典：筆者作成

図 18 災害拠点病院のアクセス圏（総人口）

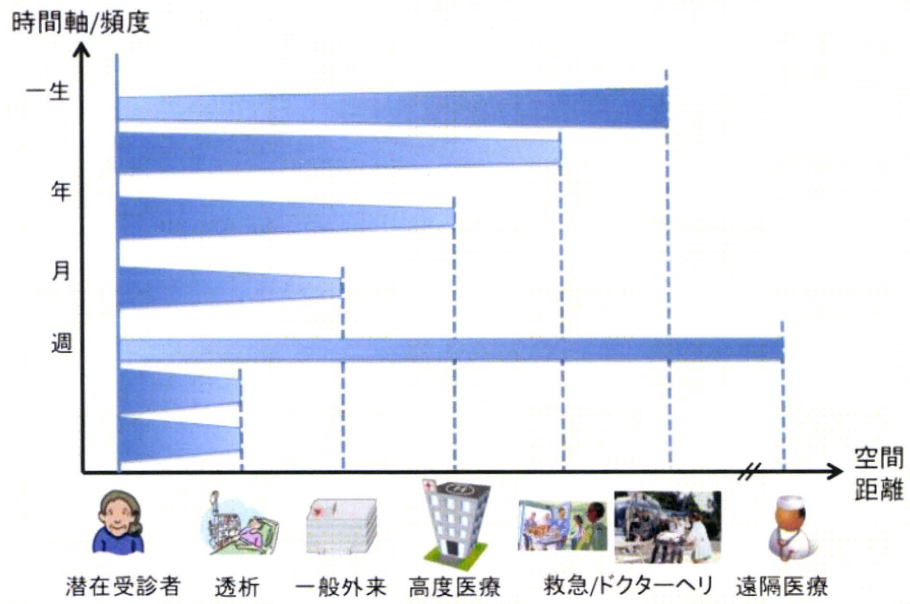
## 災害拠点病院のアクセス圏 (秋田県, 65歳以上推計外来診療者数)



出典：筆者作成

図 19 災害拠点病院のアクセス圏（65歳以上外来受診人口推計値、秋田県）

## 医療サービスの時空間アクセス



出典：筆者作成

図 20 医療施設時空間アクセシビリティの概念

# 人口動態を考慮した地域医療指数の将来予測について

## —確率的死亡率モデルによるアプローチ—

小暮 厚之 \*

2011年6月

### 1 はじめに

政府や自治体などが医療関連予算を各地域に配分するために、しばしば標準化死亡比などの地域医療指標が参照される。このような指標は、各地域の相対リスクや相対コストを表現するものであり、地域間の実態の比較を可能とする重要な指標である。最近では、より小さな地域の指標の改善を目指し、空間的要因を考慮に入れた「小地域推定」と呼ばれる統計アプローチも盛んである。しかし、現行の地域医療指標の利用は、特定時点における地域間比較にとどまっている。複数年度にわたる予算を適正に配分するためには、現在の指標とともに将来の指標の動向を考慮することが有効であろう。本稿では、少子高齢化に直面する我が国の人口動態の変動を念頭に、確率モデルを用いた地域医療指数の予測問題の枠組みについて考察する。

### 2 地域医療指標

本稿では、将来の予測の対象となる地域医療指標として、標準化死亡比と医療費指数という二つの指標について簡潔に説明する。

#### 2.1 標準化死亡比

ある地域の標準化死亡比とは、この地域の一定期間における死亡数を標準的な集団において期待される死亡数に対する比として表したものである。ここで「期待される死亡数」とは、この地域の人口構成が標準的な地域と同一であった場合に期待される死亡数を表す。 $D_x$ ,  $\tilde{D}_x$ を地域及び標準的な集団における $x$ 歳の人の死亡数とし、 $E_x$ ,  $\tilde{E}_x$ を対応する $x$ 歳の人口とすると、標準化死亡比は

$$\text{SMR} = \frac{\text{この地域の死亡数の実績値}}{\text{この地域で期待される死亡数}} = \frac{\sum_x D_x}{\sum_x E_x \frac{\tilde{D}_x}{\tilde{E}_x}}$$

と定義される。ここで、 $x$ は $x_{\min}, x_{\min} + 1, \dots, x_{\max}$ の範囲の値を取るものとする。いま、死亡率を $m_x = D_x/E_x$ ,  $\tilde{m}_x = \tilde{D}_x/\tilde{E}_x$ とするとSMRは

$$\text{SMR} = \frac{\sum_x E_x m_x}{\sum_x E_x \tilde{m}_x} \quad (1)$$

\*慶應義塾大学 総合政策学部, kogure@sfc.keio.ac.jp

と表せる。この意味で、標準化死亡比は相対的な死亡リスクを表すものであり地域間の比較に用いることができる。

地域間の比較を時系列的にみるためには年齢調整死亡率

$$\frac{\sum_x \tilde{E}_x m_x}{\sum_x \tilde{E}_x} = \sum \tilde{w}_x m_x$$

を用いることも多い。ここで、 $\tilde{w}_x = \tilde{E}_x / \sum_x \tilde{E}_x$  とする。しかし、上式が示すように、それは標準集団の人口構成を加重に用いた各地域の死亡率の加重平均であり、地域ごとの年齢構造は反映されていない。健康リスクの把握には、死亡率  $m_x$  とともに、エクスポージャーである  $E_x$  の変動も考慮に入れる SMRの方がより適切であると考ええる。

## 2.2 医療費指数

標準化死亡比に対応する形で、ある地域における一定期間の医療費指数を

$$\text{MEI} = \frac{\text{その地域の医療費の実績値}}{\text{その地域で期待される医療費}}$$

と定義しよう。この地域の  $x$  歳の人の一人当たり医療費を  $c_x$  とし、対応する基準となる地域における一人当たり医療費を  $\tilde{c}_x$  としよう。このとき、

$$\text{MEI} = \frac{\sum_x E_x c_x}{\sum_x E_x \tilde{c}_x} \quad (2)$$

と表される。医療費指数は各地域の医療サービスの相対的コストを表す。

## 3 生命表の考え方

このような指標の将来の動向は、各年齢の死亡率が時間とともに変化していくプロセスを記述する必要がある。本節では、その基礎となる生命表を理解するために必要な基本概念を要約する。

### 3.1 理論的生命表

理論的には、「生命表は同時出生集団（出生コーホート）が出生時から、そのコーホートの全員が死亡しつくまでの死亡の逐齡的発生過程ならびにその結果としての逐齡的減少を示したものである」（山口他 [1995]）。このコーホートの寿命時間を表す確率変数を  $X$  とするとき、 $x$  年以上生存する確率は

$$l_x \equiv l_0 \Pr(X \geq x), \quad x \geq 0 \quad (3)$$

と表される。ここで、 $l_0$  は出生時の生存確率であり、当然 1 である。ただし、生命表では 10 万人からなる出生コーホートを想定し、 $l_x$  をコーホートの年齢  $x$  における生存数と解釈する。この場合は、 $l_0$  は出生時の人口数であり、 $l_0 = 100,000$  となる<sup>1</sup>。本稿では特に断わらない限りは、 $l_0 = 1$  とする。

このコーホートの生存確率  $\{l_x\}$  の瞬間的な変化は、死力

$$\mu_x \equiv -\frac{l'_x}{l_x} \quad (4)$$

<sup>1</sup>このとき、 $l_0 = 100,000$  を基数という

によって表される。ここで、 $l'_x$  は  $l_x$  の  $x$  に関する導関数を表す。  $f(x)$  を寿命  $X$  の密度関数とするとき、

$$f(x) = \frac{d}{dx} \Pr(X \leq x) = \frac{d}{dx}(1 - l_x) = -l'_x$$

であるから、(4) は、

$$\mu_x = \frac{f(x)}{\Pr(X \geq x)}$$

と表せる。すなわち、死力  $\mu_x$  は、 $x$  歳まで生存した人が次の瞬間に死亡する可能性を表す<sup>2</sup>。(5) より、生存確率は

$$l_x = l_0 \exp \left[ - \int_0^x \mu_s ds \right]$$

のように表現される。従って、生命表は死力  $\{\mu_x\}$  によって完全に記述できる。

### 3.2 死亡率

$x$  を 0 年、1 年、2 年と離散的に変化させたときの、コーホートの生存確率の各年ごとの変化率は

$$q_x \equiv -\frac{l_{x+1} - l_x}{l_x}, \quad x = 0, 1, 2, \dots$$

である。死力が連続的な生存確率の変化を表すのに対して、 $q_x$  は各年ごとの離散的な変化を表す。 $q_x$  は、

$$q_x = \frac{\Pr(x \leq X < x+1)}{\Pr(X \geq x)}$$

と変形できるから、 $x$  歳に到達した人が 1 年以内に死亡する確率である。生命表は、 $x = 0, 1, 2, \dots$  に対する  $q_x$  の値を掲げる表に他ならない。

### 3.3 生命関数としての指標

(1) に対応する理論的な標準化死亡比は

$$\text{SMR} = \frac{\sum_x l_x \times q_x}{\sum_x l_x \times \tilde{q}_x}$$

と与えられる。ここで、1 年の生存率を  $p_x = 1 - q_x$  とすると、 $t$  年生存率は

$${}_t p_x = \prod_{i=0}^{t-1} p_{x+i}$$

と表される。このとき、任意の  $t$  に対して、 $l_x$  は

$$l_x = l_{x-t} \cdot {}_t p_{x-t}$$

と表せるため、標準化指数は

$$\text{SMR} = \frac{\sum_x l_{x-t} \times {}_t p_{x-t} \times q_x}{\sum_x l_{x-t} \times {}_t p_{x-t} \times \tilde{q}_x} \quad (5)$$

<sup>2</sup>保険以外の分野で生存時間を取り扱う場合、死力を危険率（ハザード率）と呼ぶことが多い

と表せる.

(2) に対応する医療費指数は,  $x$  歳の一人当たり医療費を  $c_x$ ,  $C_x$  とすると

$$MEI = \frac{\sum_x l_{x-t} \times {}_t p_{x-t} \times c_x}{\sum_x l_{x-t} \times {}_t p_{x-t} \times \tilde{c}_x} \quad (6)$$

以上の計算においては, 地域間の人口の移動はないものと仮定している. また,  $x_{\min} \geq t$  を仮定している.

## 4 動的な生命表

理論的な生命表は, 暦年には依存しない静態的な人口を想定している. しかし, 戦後我が国の死亡率は一貫して減少している. 特に, 図1に見るように高齢者の死亡率低下の度合いが著しい.

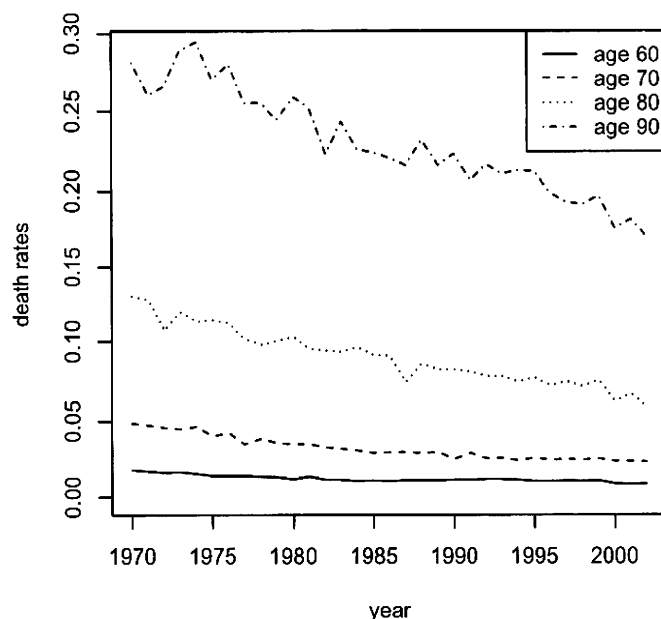


図 1: 年齢別死亡率 (国勢調査及び人口動態統計に基づく粗死亡率) の 1970 年から 2003 年にかけての推移

このような近年の死亡率の低下を分析するためには, そのような静態的な生命表では不十分であり, 暦年効果を明示的に含んだ動的な生命表モデルを考察する必要がある. 動的な生命表では, 生存確率や死亡率は暦年  $t$  に対して定義し,  $l_x(t)$ ,  $\mu_x(t)$  などと表記する. このとき, 死亡率は, 年齢  $x$  と暦年  $t$  の関数として表 1 の行列のように与えられる.

表 1 死亡率の行列

$q_0(0)$	·	·	$q_0(t)$	·
·	$q_1(1)$	·	$q_1(t)$	·
·	·	⋮	⋮	·
$q_x(0)$	$q_x(1)$	⋯	$q_x(t)$	⋯
·	·	·	⋮	⋮

前節で述べた理論的死亡率  $q_x$  は、暦年  $t$  年に生まれたコーホートに対して：

$$\{q_0(t), q_1(t+1), \dots, q_\omega(t+\omega)\}$$

に対応する。ここで、 $\omega$  は生命表における年齢の最大値である。暦年  $t$  年における死亡表は縦方向の系列

$$\{q_0(t), q_1(t), \dots, q_\omega(t)\}$$

に対応する。また、横方向の系列

$$\{q_x(t), q_x(t+1), \dots\}$$

が動的な動きを表す。

このとき、(5) より時点  $s$  の標準化死亡比は

$$\text{SMR}(s) = \frac{\sum_x l_{x-t}(s-t) \times \left[ \prod_{i=0}^{t-1} p_{x-t+i}(s-t+i) \right] \times q_x(s)}{\sum_x l_{x-t}(s-t) \times \left[ \prod_{i=0}^{t-1} p_{x-t+i}(s-t+i) \right] \times \tilde{q}_x(s)}$$

と表せる。特に  $s = t$  とすると

$$\text{SMR}(t) = \frac{\sum_x l_{x-t}(0) \times \left[ \prod_{i=0}^{t-1} p_{x-t+i}(i) \right] \times q_x(t)}{\sum_x l_{x-t}(0) \times \left[ \prod_{i=0}^{t-1} p_{x-t+i}(i) \right] \times \tilde{q}_x(t)}$$

同様にして、時点  $t$  の医療費指数は

$$\text{MEI}(t) = \frac{\sum_x l_{x-t}(0) \times \left[ \prod_{i=0}^{t-1} p_{x-t+i}(i) \right] \times c_x(t)}{\sum_x l_{x-t}(0) \times \left[ \prod_{i=0}^{t-1} p_{x-t+i}(i) \right] \times \tilde{c}_x(t)}$$

となる。各年齢の一人当たり医療指数は死亡率とは独立な要因によって変動し、死亡率とは独立に予測できるものと仮定する。たとえば  $c_x(t) = c_x(0)$ ,  $\tilde{c}_x(t) = \tilde{c}_x(0)$  としよう<sup>3</sup>。したがって、SMR と同様に、将来の死亡率を予測することによって、将来の医療費指数を予測することが可能である。

## 5 死亡率の定義

死亡データの実証分析では、死力、死亡率、粗死亡率などいくつかのよく似た概念が用いられる。ここでは、それらを整理しておく。

死力  $\mu_x(t)$  は時点  $t$  において  $x$  歳の人がある瞬間に死亡する可能性を表す。十分小さい  $dt$  に対して、 $\mu_x(t)dt$  は区間  $[t, t+dt)$  における死亡確率を与える。一方、死亡率  $q_x(t)$  は時点  $t$  に  $x$  歳の人がある1年以内に死亡する確率である。それは死力によって

$$q_x(t) = 1 - \exp \left\{ - \int_0^1 \mu_{x+s}(t+s) ds \right\} \quad (7)$$

と表現される。

<sup>3</sup>現実には、データを用いてそれらを予測することが求められる。それについては別途議論したい。



実際の分析では、死力や死亡率の代わりに、粗死亡率の概念を用いることが多い。時点  $t$  から時点  $t+1$  までの時間間隔を暦年  $t$  と呼ぶことにすると、暦年  $t$  における  $x$  歳の粗死亡率は

$$m_x(t) \equiv \frac{\text{直前の誕生日で } x \text{ 歳になった人の暦年 } t \text{ における死亡数}}{\text{直前の誕生日で } x \text{ 歳になった人の暦年 } t \text{ 年における平均人口}}$$

と定義される。

本稿では、Brouhns et al (2002a) にならって、死力に関して次の仮定を置く：

仮定：任意の整数  $t$ 、整数  $x$  及びすべての  $0 \leq s, u \leq 1$  に対して：

$$\mu_{x+u}(t+s) = \mu_x(t)$$

すなわち、死力は各年齢及び各暦年に対して一定と仮定する。この仮定から、粗死亡率は死力に等しくなり、

$$m_x(t) = \mu_x(t)$$

が成立する。また、(7) より、暦年  $t$  において  $x$  歳の人が 1 年以内に死亡する確率は、

$$q_x(t) = 1 - \exp\{-m_x(t)\} \quad (8)$$

と与えられる。粗死亡率  $m_x(t)$  が小さければ、死亡率  $q_x(t)$  は粗死亡率にほぼ等しいことに注意されたい。

粗死亡率  $m_x(t)$  に対応する実際のデータの観察死亡率は

$$m(x, t) \equiv \frac{D(x, t)}{E(x, t)}$$

である。ここで、 $D(x, t)$  は  $x$  歳の人の  $t$  年における実際の死亡数、 $E(x, t)$  は対応するエクスポージャーである。 $E(x, t)$  として、しばしば暦年  $t$  の中央日における  $x$  歳の人口が採用される。

## 6 死亡率予測の統計モデル

死亡率の変動を記述する最も代表的な確率モデルは Lee-Carter モデル (Lee and Carter, 1992; Lee, 2000) である。このモデルは人口統計学のみならず生命保険や年金評価の分析において広く用いられている。我が国データへの応用には、小暮 (2005)、小暮・長谷川 (2008)、Kogure, Kitsukawa and Kurachi (209), Kogure and Kurachi (2010) などがある。

Lee-Carter モデルは死亡率を年齢要因と時間要因に分解するモデルである。しかし、最近ではコーホートの効果も考慮する様々な代替的なモデルが提案されている。本節では、Cairns et al., (2008) で紹介されている 7 つのモデル<sup>4</sup>を取り上げ、我が国のデータに適用しその結果を比較する。

ここでは、死亡数  $D(t, x)$  は平均が  $E(t, x)m_x(t)$  のポアソン分布に従うという確率モデルを考察する。ここで、 $m_x(t)$  として以下に掲げる 7 つのモデルを考察の対象とする。その上で、各モデルの尤度

$$L \equiv \prod_{x,t} \frac{\exp\{-E(t, x)m_x(t)\}(E(t, x)m_x(t))^{D(t, x)}}{D(t, x)!}$$

を最大化することによってパラメータの値を定める。

データは「人口動態統計」と「国勢調査統計」に掲載されている、60 歳から 89 歳までの男性の死亡数と人口数を用いた。データの期間は、1970 年から 2005 年までの 36 年である。推定には、Coughlan et al. (2007) の R プログラムを利用した。

<sup>4</sup>Cairns et al., (2008) では 8 つのモデルが比較されているが、スプラインを用いた平滑化モデルである M4 は対象外とした。

## 6.1 モデル M1 : Lee and Carter (1992)

Lee-Carter モデルは対数死亡率を以下のようにモデリングする.

$$\text{M1} \\ \log m_x(t) = \beta_x^{(1)} + \beta_x^{(2)} \kappa_t^{(2)}$$

ここで

- $\kappa_t^{(2)}$  は, 時間的な変動を表す (各年齢に共通な) パラメータ
- $\beta_x^{(1)}$  は, 時間的な変動とは独立な年齢要因
- $\beta_x^{(2)}$  は, 共通パラメータ  $\kappa_t$  に対する各年齢の感応度

これは双線形モデルであり識別性の問題を持つ. これを見るために, 任意の定数  $a \neq 0$  及び  $b$  に対して

- $\tilde{\beta}_x^{(1)} = \beta_x^{(1)} + b\beta_x^{(2)}$
- $\tilde{\beta}_x^{(2)} = \beta_x^{(2)} / a$
- $\tilde{\kappa}_t^{(2)} = a(\kappa_t^{(2)} - b)$

としよう. このとき,  $\log m_x(t) = \tilde{\beta}_x^{(1)} + \tilde{\beta}_x^{(2)} \tilde{\kappa}_t^{(2)}$  となる. したがって, このままでは  $\kappa_t$  と  $\beta_x$  は識別できない. このため, 以下の条件を課する:

$$\sum_t \kappa_t^{(2)} = 0, \quad \sum_x \beta_x^{(2)} = 1$$

## 6.2 モデル M2:Renshaw and Haberman (2006)

このモデルは

$$\text{M2} \\ \log m_x(t) = \beta_x^{(1)} + \beta_x^{(2)} \kappa_t^{(2)} + \beta_x^{(3)} \gamma_{t-x}^{(3)}$$

これはモデル M1 に, コーホート要因  $\gamma_{t-x}^{(3)}$  を加えたモデルである. これはいわゆる年齢期間コーホート (APC) モデルである. このモデルが識別可能となるためには, Lee-Carter モデルに課された条件に加え, コーホート効果のパラメータに関する以下の追加条件を必要とする:

$$\sum_{x,t} \gamma_{t-x}^{(3)} = 0, \quad \sum_x \beta_x^{(3)} = 1$$

推定結果は図 3 に与えられる. 尤度最大化の計算の収束スピードが非常に遅く, 識別性に問題があることが示唆される.

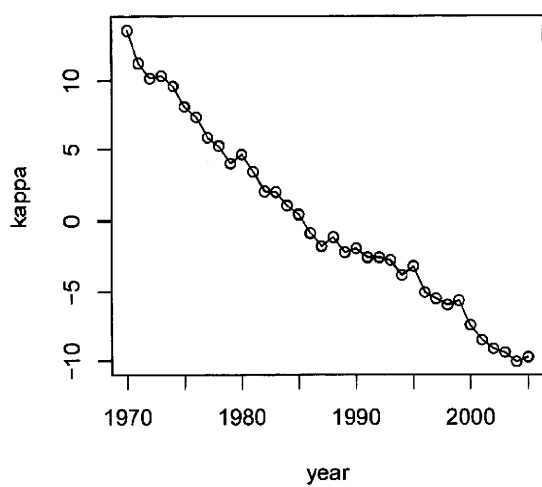


図2 モデル M1 による推定値

図2は各パラメータの推定結果を与える。 $\kappa_t^{(2)}$ はほぼ直線的に低下しており、死亡率が低下していることが分かる。 $\beta_2$ は75歳をピークにした釣鐘型をしており、75歳前後の人が死亡率低下の最大の恩恵を受けていると考えられる。

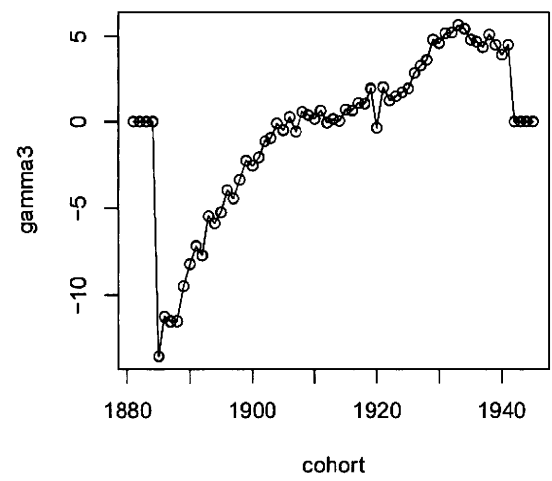
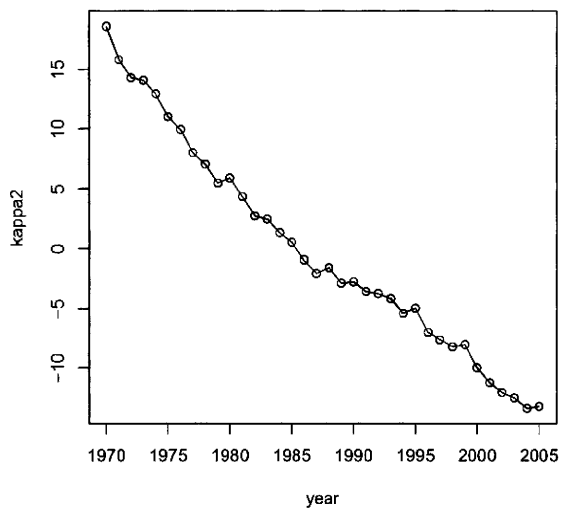
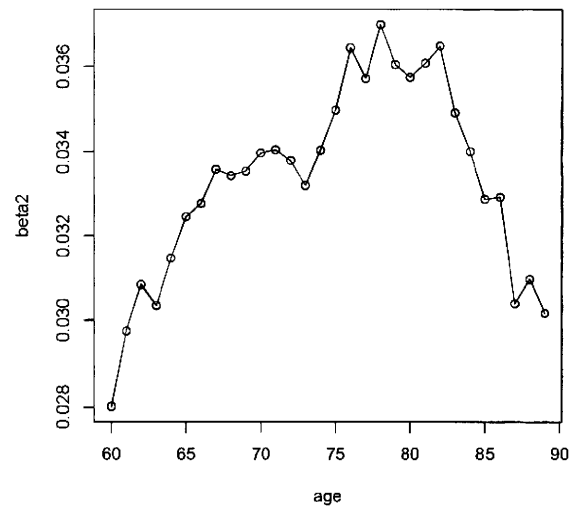
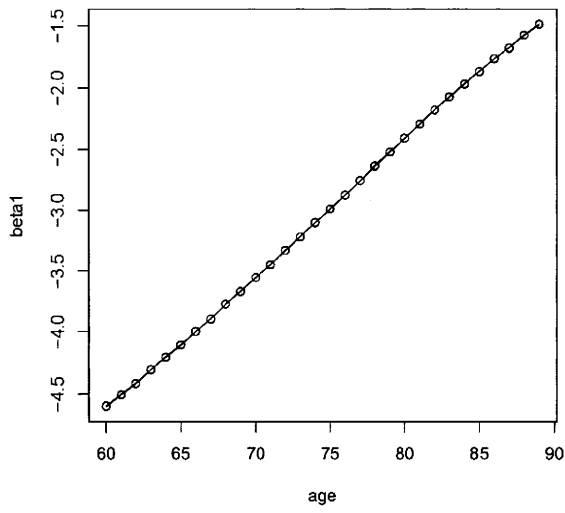


図3 モデルM2による推定値