

図 2

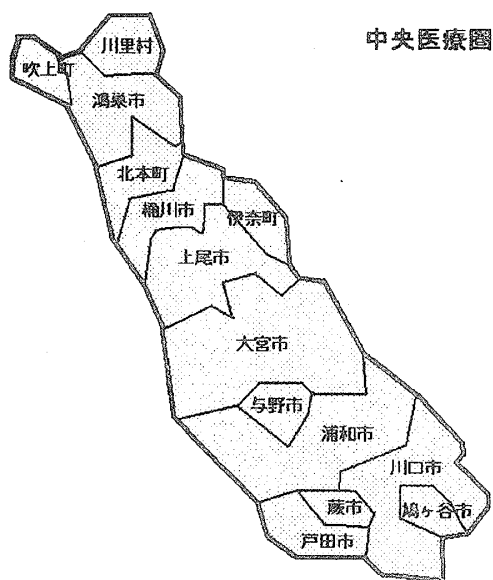


図 3

2. パラメータの推定

さて、図 2、図 3 のような実際の医療圏における MRI 診療をシミュレートするにあたり、当然必要とされるのが以下に挙げる 3 つのパラメータである。

- ・ MRI の処理能力の推定
- ・ MRI 診療を必要とする患者の発生率
- ・ 患者の移動率

これらを資料[1]をもとに順に推定していこう。

MRI 処理能力の推定

まずは、全国平均から、全国の MRI 取り扱い件数を日本の MRI 保有台数で割った値である。これによると MRI 1 台あたりの処理能力は 1 週間あたり 43.1 人となる。

次に、図 4 に県別 MRI 保有台数-取り扱い件数の散布図を示そう。このデータから原点を通る直線回帰分析を行うと、1 台あたり 46.7 人/週という処理能力が推定さ

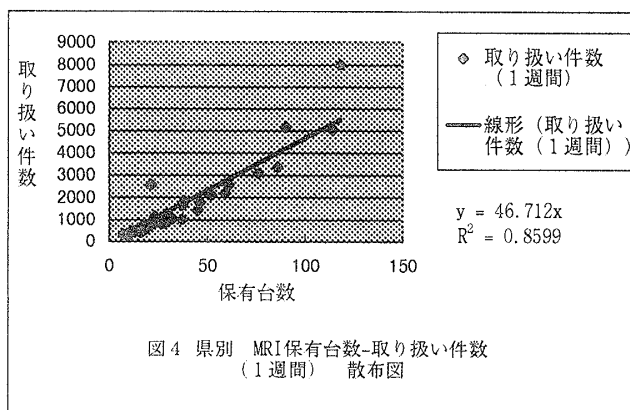


図 4

れる。図 4 から、東京都、北海道、群馬県の 3 都道府県が、他のものと違った振る舞いをしていることがわかる。次の図 5 に東京、北海道、群馬を除く同様の散布図を示す。R² 値も 0.96 とかなり大きな値となり、取り扱い件数と保有台数との間に強い相関が見られる[2]。

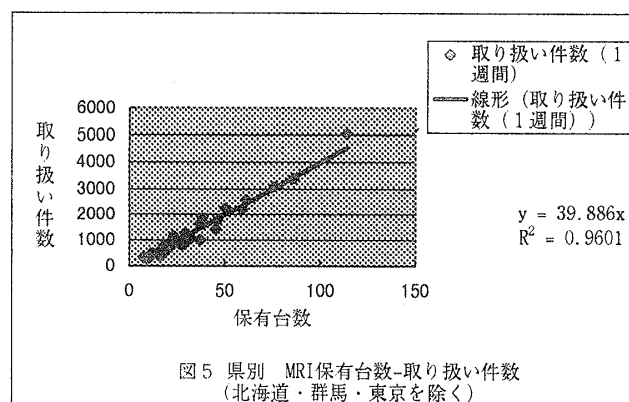


図 5

最後に、埼玉県の MRI 処理能力の平均値は、1 週間あたり 45.2 人/週であることを記しておく。まとめると以下のような表になる。

MRI 1 台あたりの処理能力

全国平均	埼玉県平均	全国直線回帰	北海道・群馬・東京を除く直線回帰
43.1 人/週	45.2 人/週	46.7 人/週	39.9 人/週

MRI の処理能力いくつかの方法で推定してみたが、実際のシミュレーションでは、ちょうど中間位の値、全国平均値を用いることにする。

MRI 診療を必要とする患者の発生率

患者の発生に関しては、県別人口 (×1000 人) と MRI 取り扱い件数のデータから予測する。特に埼玉県では、MRI の保有数が人口に対して少ないので、需要予測につ

いては埼玉県のデータだけを利用するというのは危険であり注意が必要である。

まずは全国平均からみてみよう。1週間に人口1,000人あたり0.53人MRI検診を受けていることが資料[1]から得られる。

処理能力のときと同様に、全国平均以外でも推定してみる。直感的には、例えば北海道や沖縄のように、比較的患者の流出入が少なそうな地域での分析が、人口あたりのMRI検診を受けている患者数の類推に役立つであろうと考えられる。資料[1]による県別患者の移動率を低い順に並べたものを表1に示す。ここで注意しておかなければならないことは、この患者の移動率については、MRIを必要とする患者に限定されたものではなく、医療患者全般に関するものであるということである。

表1 患者の移動率に関する県別順位

患者の移動率の低い道県				患者の移動率の高い都府県			
1	北海道	2	沖縄県	22	愛知県	23	福岡県
3	新潟県	4	高知県	24	宮城県	25	宮崎県
5	石川県	6	富山県	26	岩手県	27	三重県
7	山形県	8	青森県	28	大分県	29	鳥取県
9	愛媛県	10	鹿児島	30	静岡県	31	大阪府
11	秋田県	12	熊本県	32	兵庫県	33	島根県
13	長崎県	14	福島県	34	群馬県	35	和歌山
15	長野県	16	香川県	36	栃木県	37	岐阜県
17	岡山県	18	山口県	38	京都府	39	滋賀県
19	徳島県	20	広島県	40	茨城県	41	佐賀県
21	福井県			42	神奈川県	43	山梨県
				44	千葉県	45	奈良県
				46	東京都	47	埼玉県

この表をもとに、図6に比較的患者の流出入の少ない16都道府県に関するMRI取り扱い件数-人口(×1,000)の散布図を示す。その結果1週間に人口1,000人あたり

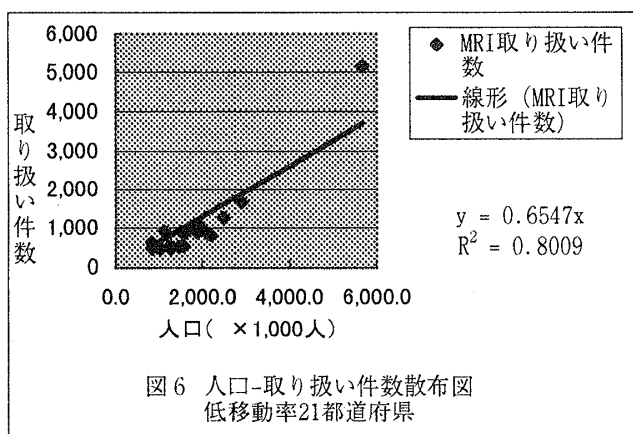


図6

0.65人MRI検診を受けていることが、原点を通る回帰直線から推測される。図6からわかるように、一つだけ他の都道府県と大きく異なっているものがある。北海道である。図7では、北海道を除く比較的流出入の少ない都道府県に関する散布図を示している。ちなみにこの分析では、1週間に人口1,000人あたり0.50人MRI診療を必要としているが、散らばりが大きく相関はそれほど見られない。

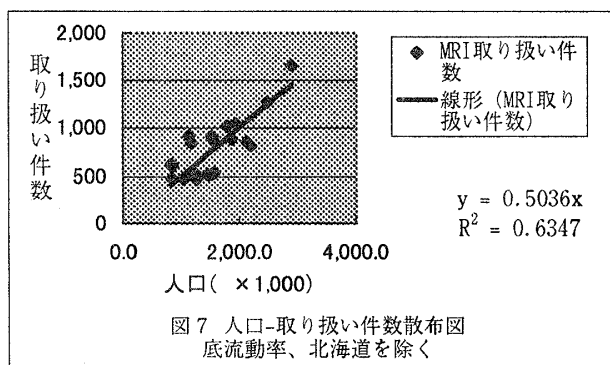


図7

表2に人口あたりのMRIを必要とする潜在的な患者の数をまとめとして示す。

表2

全国平均	低移動率 21 都道府県 直線回帰	底流動率 21 都道府県 直線回帰 (北海道を除く)
0.53 人/ (1 週間・1000 人)	0.65 人/ (1 週間・1000 人)	0.50 人/ (1 週間・1000 人)

発生率に関しても処理能力の場合と同様に、中央値である全国平均をシミュレーションのパラメータとして採用する。

患者の移動率

最後に、患者の移動(流出入)に関して。資料[1]の埼玉県内2次医療圏間患者流出入状況を表3としてまとめ、参照する(単位は%)。このデータはMRI診療に関してだけでなく診療全体に関するものであり、入院と外来患者に関するものとデータが分かれているため、そのままシミュレーションのパラメータとしてそのまま利用することはできない。そこで、入院と外来に関しては、1:9(これが妥当かどうかは議論が別途必要だが)の加重平均をとりそれぞれ流入率とし、表4に結果を示す。

表3

2次医療圏名	流入率 (入院)	流入率 (外来)	流出率 (入院)	流出率 (外来)
東部	45.6	17.1	34.2	24.5
中央	20.4	10.6	31.8	20.9
西部第一	38.1	12.1	28.9	22.6
西部第二	49.5	24.2	30.4	25.1
比企	41.0	19.6	43.0	27.7
秩父	3.7	1.6	45.1	18.1
児玉	31.8	10.1	38.9	38.0
大里	34.5	18.8	35.3	22.5
利根	28.1	14.4	49.0	33.4

表4

2次医療圏名	流入率	流出率
東部	19.95	25.47
中央	11.58	21.99
西部第一	14.70	23.23
西部第二	26.73	25.63
比企	21.74	29.23
秩父	1.81	20.80
児玉	12.27	38.09
大里	20.37	23.78
利根	15.77	34.96

流出率については、例えば東部で発生した患者の25.47%が他の2次医療圏あるいは他府県に流出するという意味である。“どこに”というのは明確にされていない。これについては実際にシミュレーションによる試行錯誤を行ってしてから議論する。また、流入率に関してはこれではまだ不十分である。母数であるところの“どのくらいの頻度で流入患者が発生するのか”がわかっていない。それについては、埼玉県での潜在的なMRIを必要とする患者発生率(3627人/週間)と埼玉県全体の患者の流入率(流入入院16.8%, 流入外来3.6%, 流出入院16.8%, 流出外来14.9%)で同様の方法で推定する。結果、およそ159人/週の率で他府県から埼玉県へMRI患者が流入してくると推定された。さらに、この他府県からの流入患者がそれぞれ埼玉県内の2次医療圏に分配されるわけだがその行き先に関しては、単純ではあるがそれぞれの医療圏の処理能力比と同等であると考える。

3. シミュレーションの実行

さて、前節で求めたパラメータの下で埼玉県内の2次保健医療圏及びその中の中央地区医療圏をシミュレートするわけであるが、まず記述すべきは患者の流出率

を最初から与えてしまうと医療機関の患者の待ち行列の長さが時間とともにほぼ線形に変化し、発散してしまう傾向にあるということが、予備実験によって確認された。つまり、患者の流出率という動きの変化を静的に考えるのは、現実離れしていることになる。入出入率の推定を行ってはみたものの、それは、シミュレーションのパラメータとしてはふさわしくなかったことを述べておく。そこで、待ち行列の発散を防ぐために、次のような患者の行動のメカニズムをフローチャートで表す(図8)。

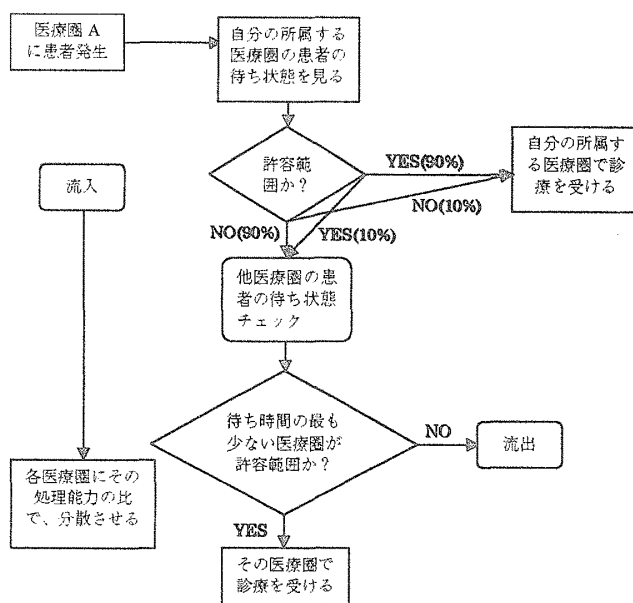


図8

大雑把に言うと、患者はそれぞれが待ち時間の上限を持ち、所属する医療圏内の医療機関の待ち行列の長さがその許容範囲内であったらそこで診療を受ける。もし、許容範囲外であったら他の医療機関で待ち時間の一番短い医療圏を選ぶという仕組みである。なお、待ち時間の上限に関しては、発生した患者の

- ・10%が、1日—1週間まで待てる人
- ・40%が、1週間—4週間まで待てる人
- ・40%が、4週間—8週間まで待てる人
- ・5%が、8週間—12週間まで待てる人
- ・5%が、12週間以上待てる人

と仮定する。待てる時間の具体的な上限値はそれぞれの区間で一様分布を発生させ、与える。

このような仮定の下で埼玉県内の2次保健医療圏について、乱数系列を変化させ28週間のシミュレーション(Simulation2-1)を3回行った[3]。待ち行列内人数

の時系列的な変化を図9に示す（縦軸は医療圏ごとにスケールが異なるのでご注意ください）。システム立ち上げ後、約6週くらいで待ち行列の長さが定常状態に入っている。紙面の都合上、患者の流れに関する値は表示しないが、他の医療圏から東部地区への流入がまったくなく、明らかに東部地区で、MRIが不足していることがシミュレーションから明らかになった。

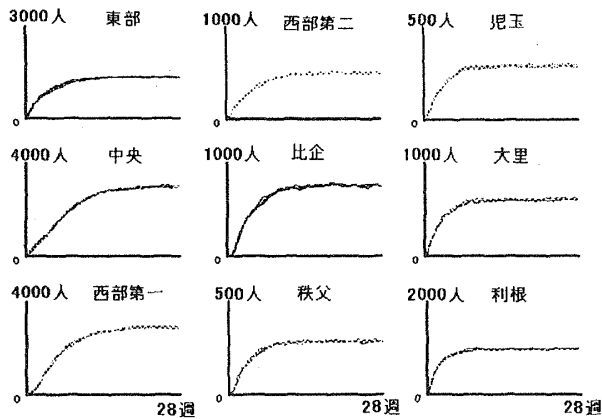


図9

さて、次なるシミュレーションとして、患者の行動に対する制限として空間という要素を考える。前のシミュレーションにおいては、各患者は自分の待ち時間をなるべく少なくするように行動をとるという設定であった。では、地理的な要素に関してはどうか？もし、待ち時間が同じであったり、診療の質が同じであったり、その他条件が同じであったら、アクセスの便利より近くの医療圏で診療を受けるに違いない。このような想定の下で、次のような患者の移動に関する制限を考慮する。

「埼玉県内で発生したMRI診療を必要とする各患者は、発生した医療圏、或いはそれに隣接する医療圏、或いは県外の医療圏のいずれかで診療を受ける」

少々乱暴な制限であると思われるが、発生した患者に関しては、なるべくその医療圏内で診療が受けられる医療システムを作るにはどうしたらよいのか、或いはそうするとどのような結果になるのか等を知る上で必要なシミュレーションであると考えて、以下、図10に移動可能な医療圏どうしを矢印で結んだ埼玉県2次保健医療圏区分図を示す。この場合も前回のシミュレーションと同様に乱数系列を変化させ3度行った（Simulation2-2）。患者の医療圏ごとの待ち行列内人数の時系列的変化を図11に示す。

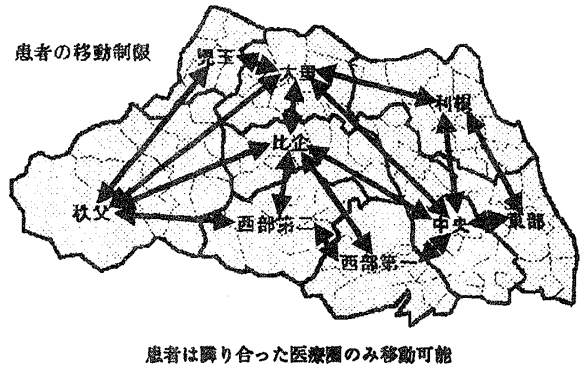


図10

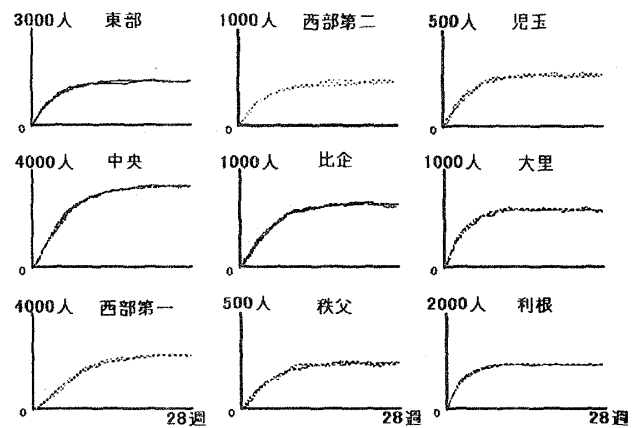


図11

さらに、これら2つのシミュレーション結果を重ね書きしたものを図12に示す。

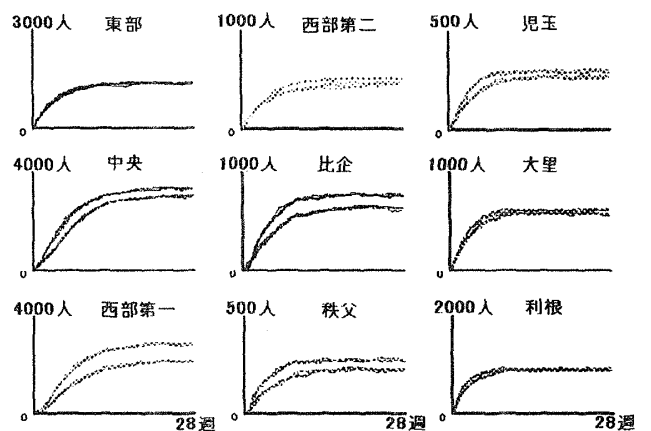


図12

この図を見て言えることは、待ち行列の時系列的変化が医療圏ネットワークの構造の変化の違いないような医療圏は絶対的にMRIが不足しているということである。つまり、医療圏ネットワークの構造を変えよう

が変えまいが関係なく、その医療圏で発生する患者の診療で、待ち行列があふれているということである。この場合、東部、大里、利根地区にMRIが不足しているということになる。

MRI 増設シミュレーション

最後のシミュレーションとして、MRIの増設を考えた。その候補地としては、先に述べた東部、大里、利根地区、加えて、数理計画モデル分析により指摘された西部第二地区にそれぞれ1機づつ増設してみる (Simulation3)。結果は当然のことではあるが患者の平均待ち時間は減少した (図13)。

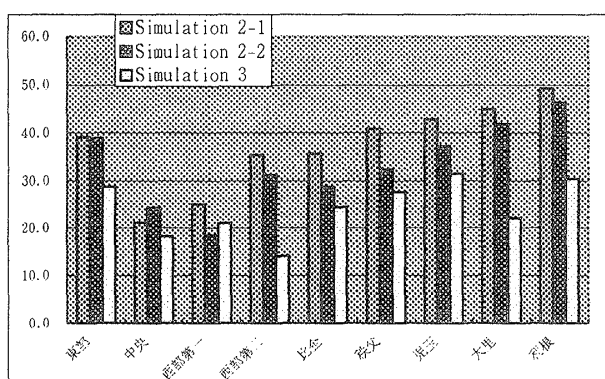


図13

埼玉県の2次保健医療圏の1つである、中央地区に関しても、詳細にシミュレーションを行ったが、方法としては、埼玉県の場合と同様であり、結果も予想の範囲内であるので、結果の報告は割愛する。

4. まとめと今後の課題

本稿では、高度医療機器の評価に関するシミュレーション分析とし、MRI診療を必要とする患者の発生、移動状況、機器の利用状況の統計的な推定を行い、また、それらのパラメータを利用し医療ネットワークモデルをコンピュータ上に構築し、シミュレーションによって、患者の待ち行列の時系列的、現象的な変化を詳細に調査した。

2節では、シミュレーションに必要な各種パラメータを資料[1]から推定した。そこでわかったことを箇条書きにしておく。

- ・MRI 1台、1週間あたり40~47人の診療が可能である。特に全国平均は43.1人/週である。

- ・MRIを必要とする患者は、人口1,000人、1週間あたり約0.53人である。

第3節では、埼玉県および埼玉県内の中央2次保健医療圏のネットワークモデルを作り、シミュレーションをおこなった。そこでわかったことを箇条書きにしておく。

- (1)患者の流入出率をパラメータとして与えると待ち行列が発散する。

- (2)医療圏ネットワークの振る舞い(待ち行列の時間的推移)はネットワークの構造に大きく依存する。

- (3)逆に、待ち行列の時間的推移がネットワークの構造に依存しないような医療圏では、MRIが不足している。

(1)に関しては、患者に待ち時間の上限を与えることによって待ち行列の長さが収束することによって確かめられた。また、患者が診療を受ける医療機関を変更するかどうかは、医師の決定によるものかもしれない。さらに、待ち時間の上限のつけかたにも多少客観性に乏しいものがある。MRIにかかわる医師や患者の意識調査を行い、どのようにして、医療機関を決定しているのかを客観的に調べると、より正確なシミュレーションが可能であろう。

(2)に関しては、さまざまなネットワーク形態が考えられるので、一概には言えないが地理的な条件が大きく関与していると思われる。

MRIが不足している医療圏に新たにMRIを増設することによって、その有効性は当たり前のように確かめられた。しかしながら、MRIは高額であり、MRIを扱う技術者の制約もあるであろうし、実際には不足しているからといってすぐさま増設というわけにはいかないであろう。実際、MRIの増加に対して必要な技術者の数は2関数的にふえている(図14)。

患者の待ち行列の様子は、患者の意思による医療圏の移動や、ネットワークの構造に大きく依存することがわかった。MRI増設が不可能な医療機関は、周囲の医療機関と緊密に連絡をとりあい、自ら医療圏ネットワークをつくっていく心構えでいれば、より効率的な利用形態が作れるであろう。

最後に高度医療機器(MRI)の評価の一部であるシミュレーション分析を行って感じた今後の研究課題を箇条書きにして本稿の結びとする。

- ・MRIを必要とする患者の発生率は人口に比例するの

だろうか？

・MRI を必要とする患者の待ち時間の許容範囲はどの程度か？

・診療時間の分布はどのようになっているか？

・シミュレーションがどの程度現実を反映しているかの確認。

・北海道、東京都、群馬県の特異性を説明するものは何か？

・現在（資料[1]は、平成5年度のものの）のMRIの配置はどうなっているのか？

・MRIブランド志向（MRIを所有している医療機関は信頼が置ける）についてはどうか？

・他の政治的要素、例えばMRIを設置するための地方自治体からの経済援助の実態はどのようになっているのか？

参考文献

[1] 厚生省大臣官房統計情報部編集：医療施設（静態・動態）調査・病院報告，1993.

[2] 東京大学教養学部統計学教室編：統計学入門，東京大学出版会，1991.

[3] 伏見正則：出力結果の解析，オペレーションズ・リサーチ，Vol. 35, No. 2, pp76-79, 1990.

[4] 森戸晋，相澤りえ子，貝原俊也：Visual SLAM によるシステムシミュレーション，構造計画研究所発行，共立出版発売，1998.

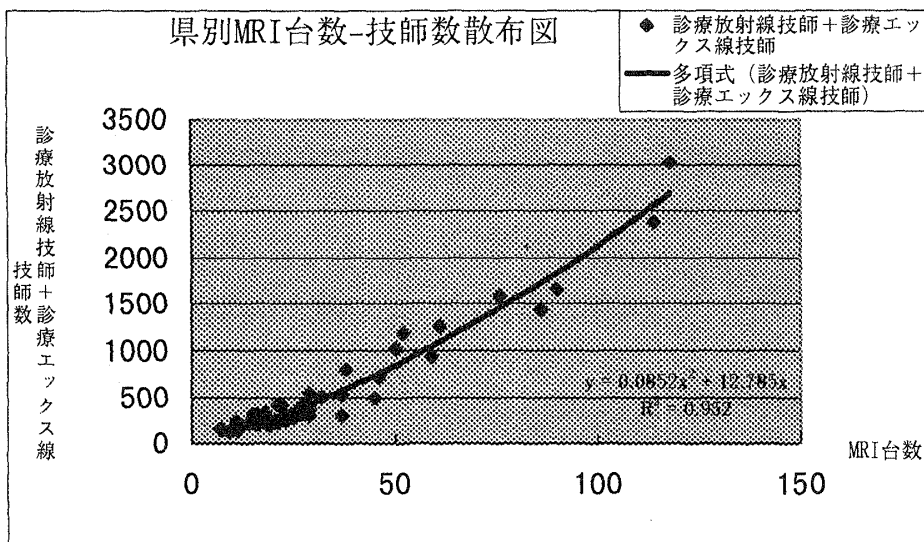


図14