

日本における乳幼児を対象とした予防接種の地域差と その関連要因の検討

Geographical variation and associated factors of infant vaccination in Japan:
a spatial and multilevel analysis

京都大学大学院 文学研究科 地理学専修 修士課程2年
松本 優希

Department of Geography, Graduate school of Letters, Kyoto University.
Yuki Matsumoto

研究の目的

多変量解析とGISを用いて、乳幼児を対象とする日本の予防接種率の地域差の実態を把握し、その要因を検討する。

研究の背景

1. 予防接種率にはマルチスケールで地域差がある

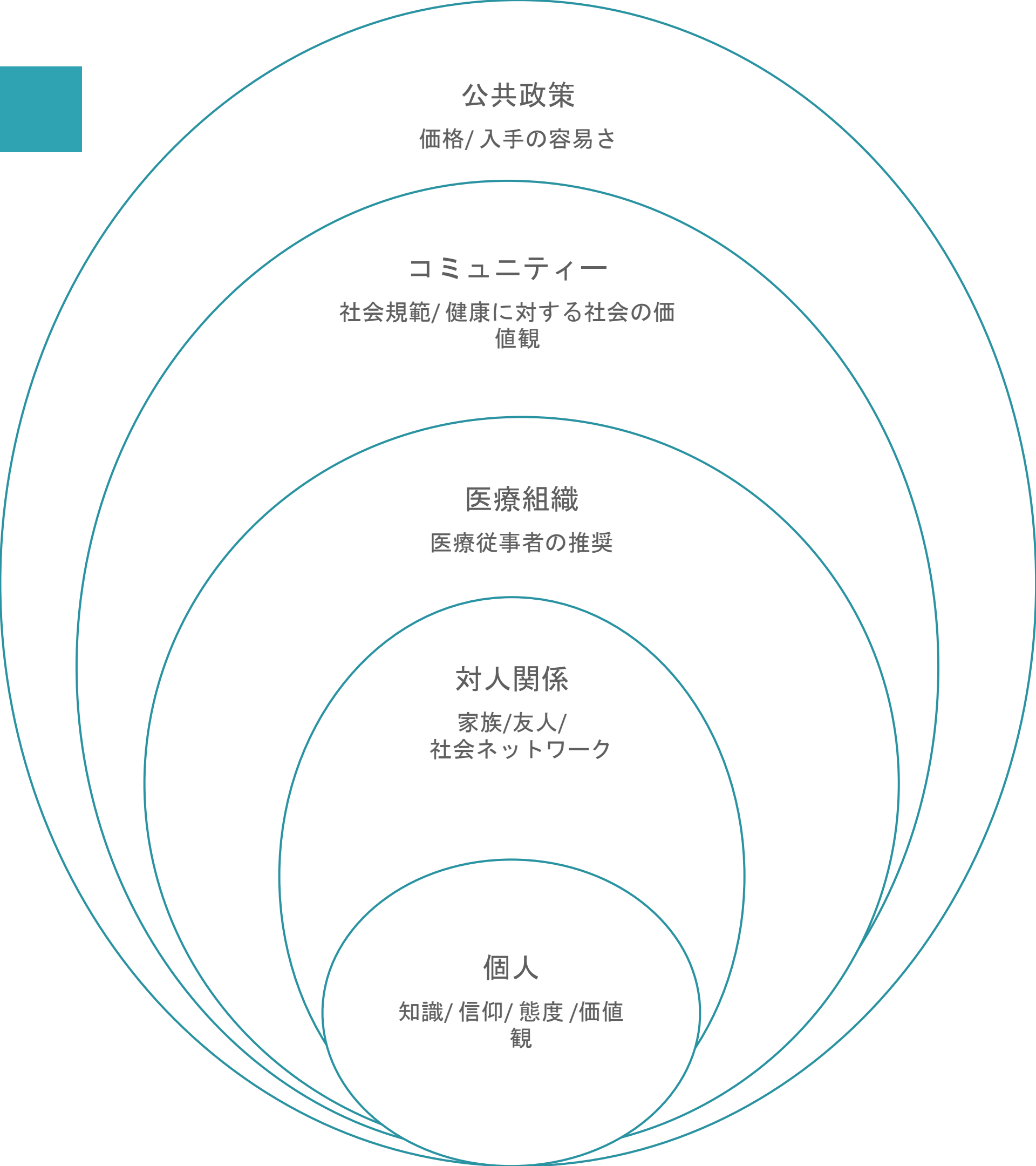
■ 低い予防接種率は感染症の蔓延をもたらす。

- 世界ワクチン接種行動計画（The Global Vaccine Action Plan : GVAP）の目標は、「2020年までに各国平均で90%以上、全ての行政区域レベルで80%以上のDTPワクチン接種率」。

■ 様々な国や地域間での接種率格差の存在が報告されている。

- 例）Figueiredo et al. (2016) は大陸間・国家レベル、Mosser et al. (2019)はアフリカで大陸一国家一小規模行政地区で分析。Holipah et al. (2020) はインドネシアの全国一地域レベル、Delameter et al. (2018) は米国州一学区レベルでの接種拒否率を分析。

■ 日本では、麻疹・風疹（MR）ワクチンの接種率しか地域別（市区町村・都道府県）では公表されていない。実態が不明。



2. なぜ地域差があるのか ＝何が接種を妨げるのか

- Vaccine Refusal（接種拒否）：少数
- Vaccine Hesitancy（予防接種への躊躇）：、利用できるワクチンの一部しか打たない。スケジュールから遅れて打つ。
- 躊躇には左図のようなアクターが関連（Dube et al. 2018）。

3. 構成効果と文脈効果が接種行動に影響を及ぼす（はず）

- **構成効果**：居住する人々の構成の地域差が、地理的な格差を生み出す効果のこと（中谷 2011）。

- 予防接種だと：所得（Sakai et al. 2015）、母親の年齢（大澤他 2019）、ひとり親（Sugishita et al. 2019）、共働き（Ueda et al. 2014）、国籍（磯野他 2004）、保育所への託児（根路銘他:2006）、親の知識（Saitoh et al. 2013）、社会移動（Sugishita et al. 2019）、第一子とそれ以外（Matsumura et al. 2005）など。

- **文脈効果**：地域的な状況（環境など）が地理的格差を生む効果のこと（中谷 2011）。

- 予防接種だと：地域の小児科医（江原 2015）、接種体制（杉下他 2012）、市部と郡部（Yahata et al. 2007）、行政の情報発信（羽田・大日 2010）など。

4. 当研究の意義：地理的分布と新たなスケールの分析

- 従来の研究は個人の接種行動に焦点を当てていた。
 - 日本では地域間での比較が行われるケースはほとんどない。
 - 感染症は空間的な広がりのある現象。個人と地域の双方の観点が必要。今回は後者。
- 個人と相関を持つ特性は、**地域**（社会集団）でも関連するのかを検討できる。
 - 既往研究の変数は集団レベルでも有効であれば、自治体の施策に応用しやすい。

分析手法

1. 被説明変数：接種率を出生数から推計

- 2015年以降の接種対象者数は集計なし。市区町村の出生数から推計。
- 国立感染症研究所の定める標準的な予防接種スケジュールに準ずる。
 - 例) 小児肺炎、B型肝炎、ヒブの初回＝月齢2ヶ月での接種を推奨。
 - ‘17年度の月齢2ヶ月の推計対象者数＝（‘17年の出生数）*11/12 +（‘18年の出生数）*1/12
 - 12ヶ月～23ヶ月を対象とする予防接種はMRワクチンの対象者数を流用。
- 2013年～2018年の接種率を推計し、その平均値を用いた。
 - 年変動を減らして、地域間比較を容易にするため。
 - 2年以上の欠損値、標準偏差の4倍以上の値を示した場合は除外（スミルノフ棄却）

2. 説明変数：個人要因変数と環境要因変数

■ 個人要因（構成効果）

- 世帯平均の児童数（出生順位の低い子供の数に関連すると仮定）、ひとり親世帯率、共働き世帯率、保育所利用率、乳幼児定期検診受診率（医療信頼度の代理変数）、社会移動率、外国人出生率、一人当たり課税所得平均（対数変換）

■ 環境要因（文脈効果）

- 小児科標ぼう医師の有無（2値）、2018年の集団接種の実施有無（2値）、自治体職員における衛生部門職員の比率（行政の施策の代理変数）、市部・郡部（2値）

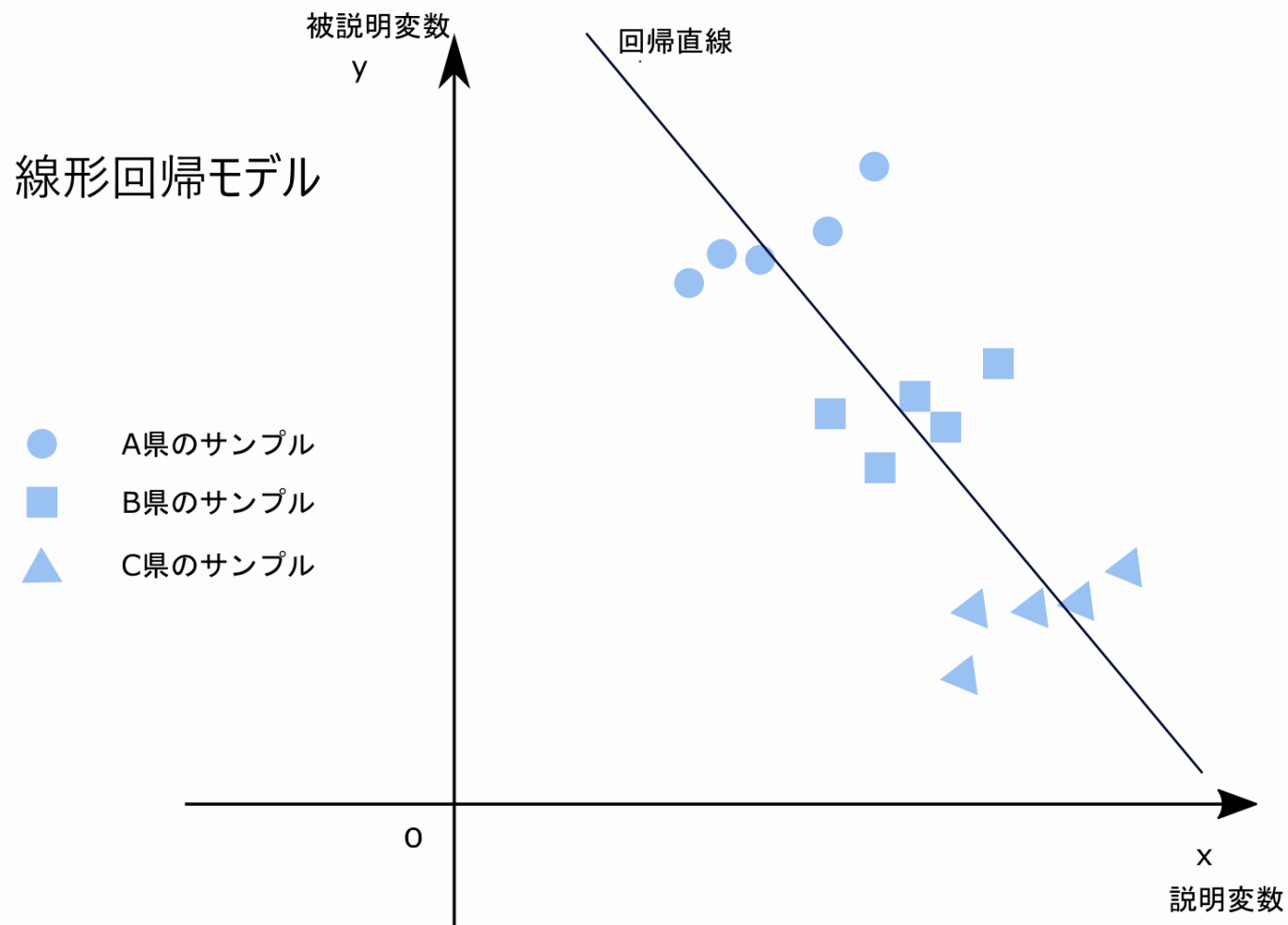
■ 各変数は政府統計を加工して作成

- 国勢調査、地域保健・健康増進事業報告、人口動態統計など

3. 変数間の関係を線形モデルで分析する

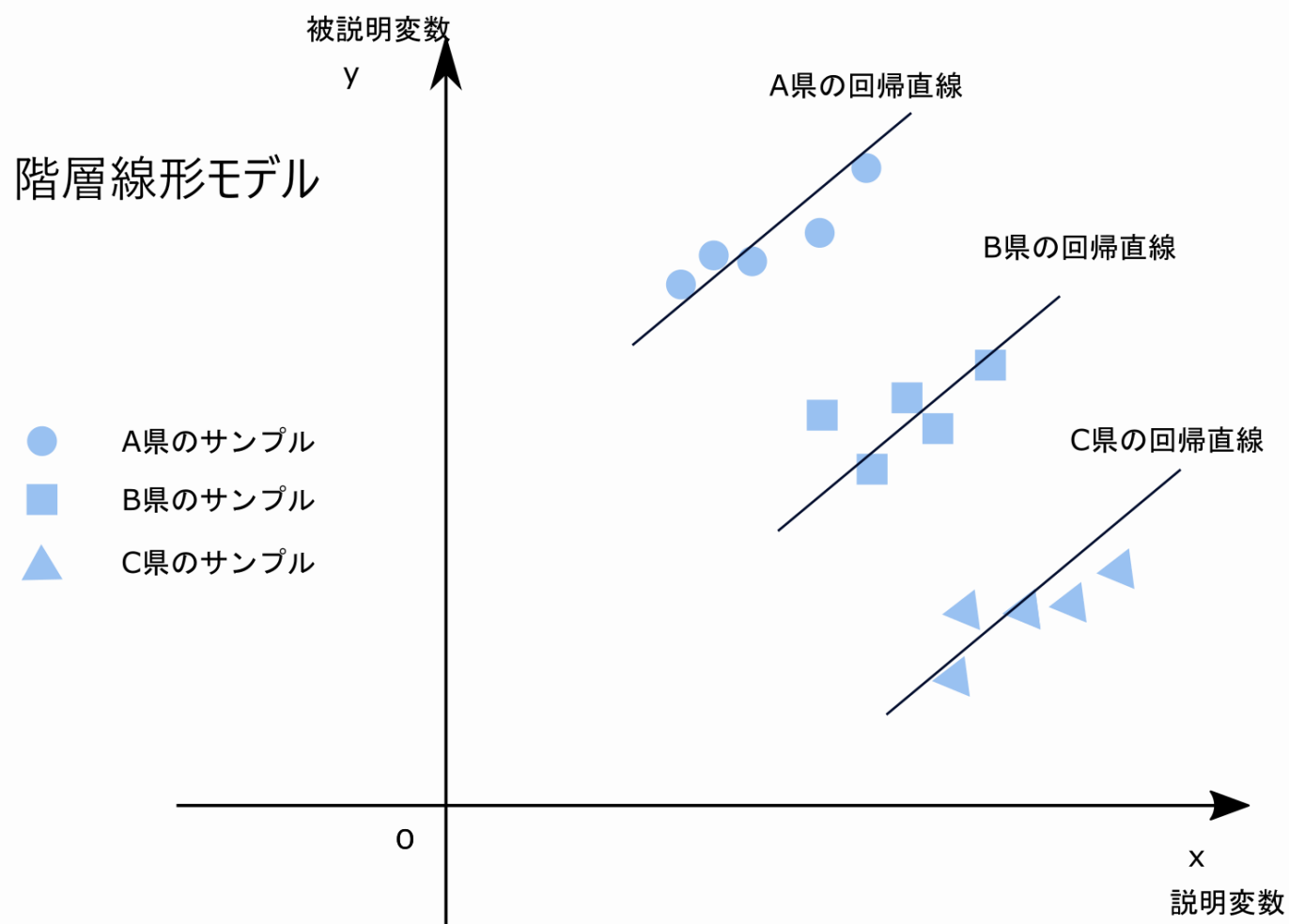
- モデル1：説明変数をすべて用いる（強制投入法）線形重回帰。
- モデル2：ステップワイズ法（AIC）で変数選択をした線形重回帰。
- モデル3：ランダム切片のみ、説明変数なし（階層線形モデル）
- モデル4：ランダム切片、固定傾きモデル（階層線形モデル）
 - 級内相関係数 <0.05 またはデザイン効果 <2 の場合は、データの階層性がないと判断。モデル4は用いなかった。

線形回帰モデル



4. 階層線形モデルを使用する意義

階層線形モデル

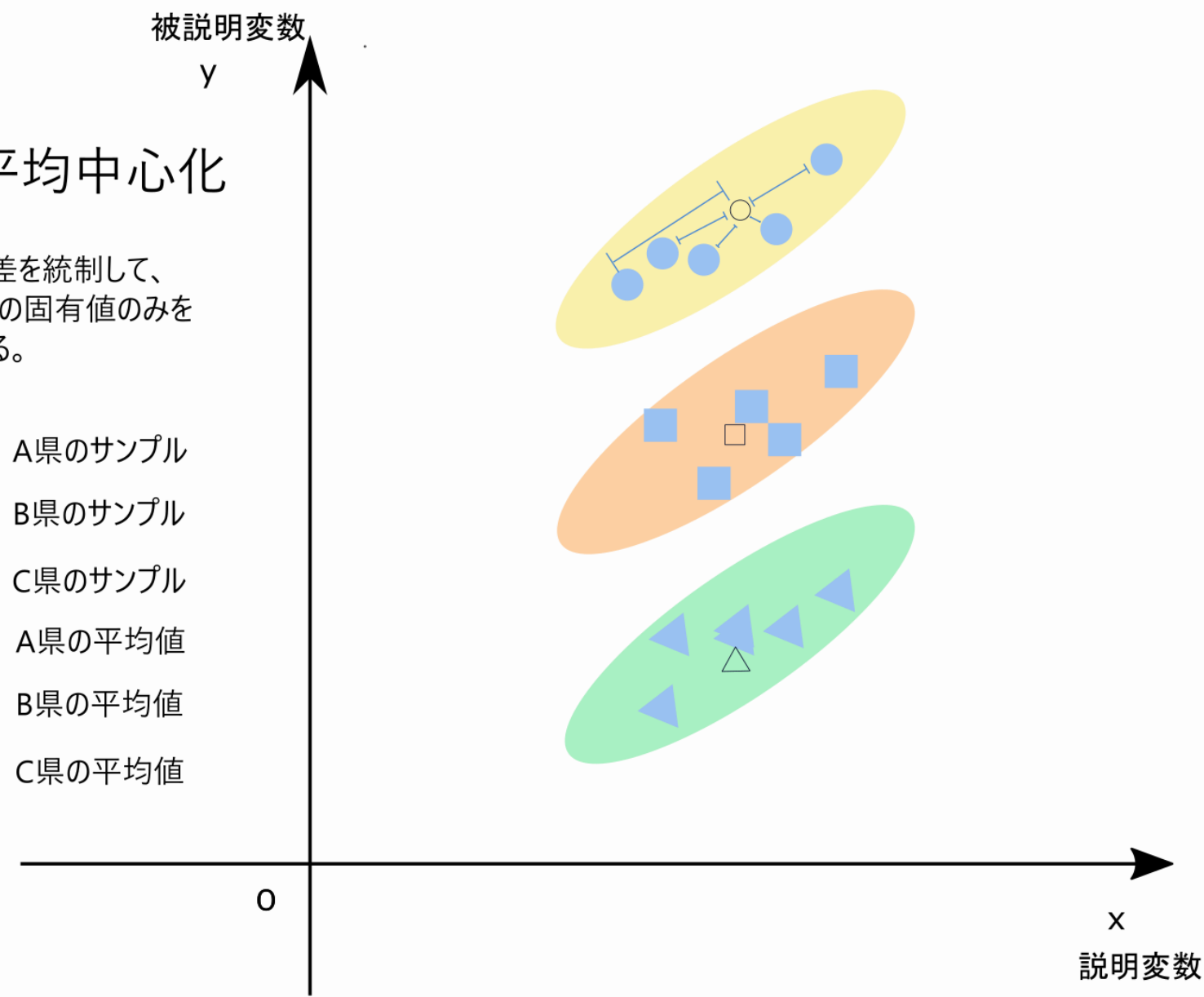


- 同一の都道府県に属する市区町村は相互に独立したサンプルとは考えにくいから。
- 一般的には個人レベルと集団（地域）レベルで用いられる。
- 今回は市区町村（レベル1）と都道府県（レベル2）。

集団平均中心化

層別の差を統制して、
サンプルの固有値のみを
比較する。

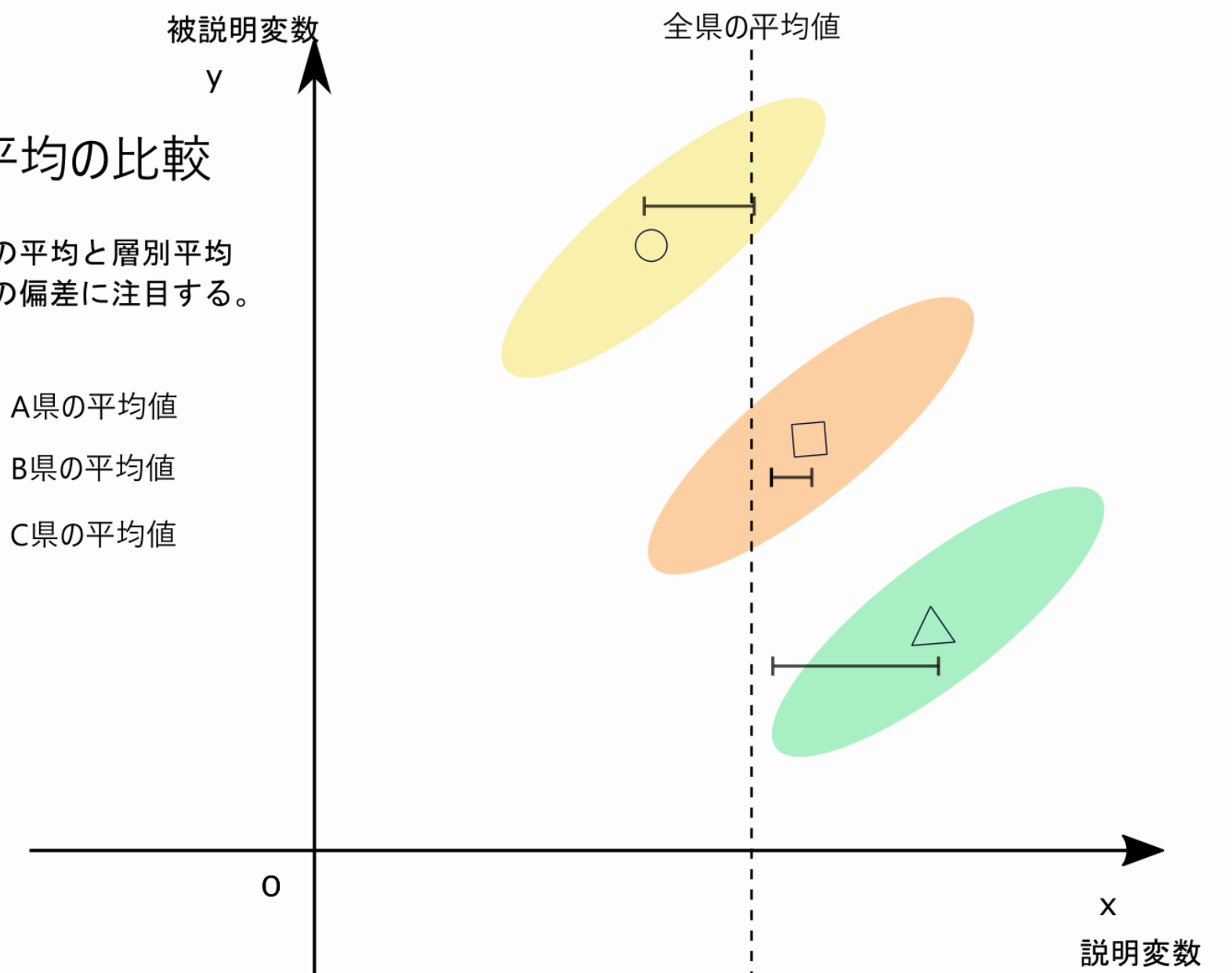
- A県のサンプル
- B県のサンプル
- ▲ C県のサンプル
- A県の平均値
- B県の平均値
- △ C県の平均値



集団平均の比較

全サンプルの平均と層別平均
(県平均) の偏差に注目する。

- A県の平均値
- B県の平均値
- △ C県の平均値



5. 中心化の概念

レベル 1：集団平均中心化（CWC）

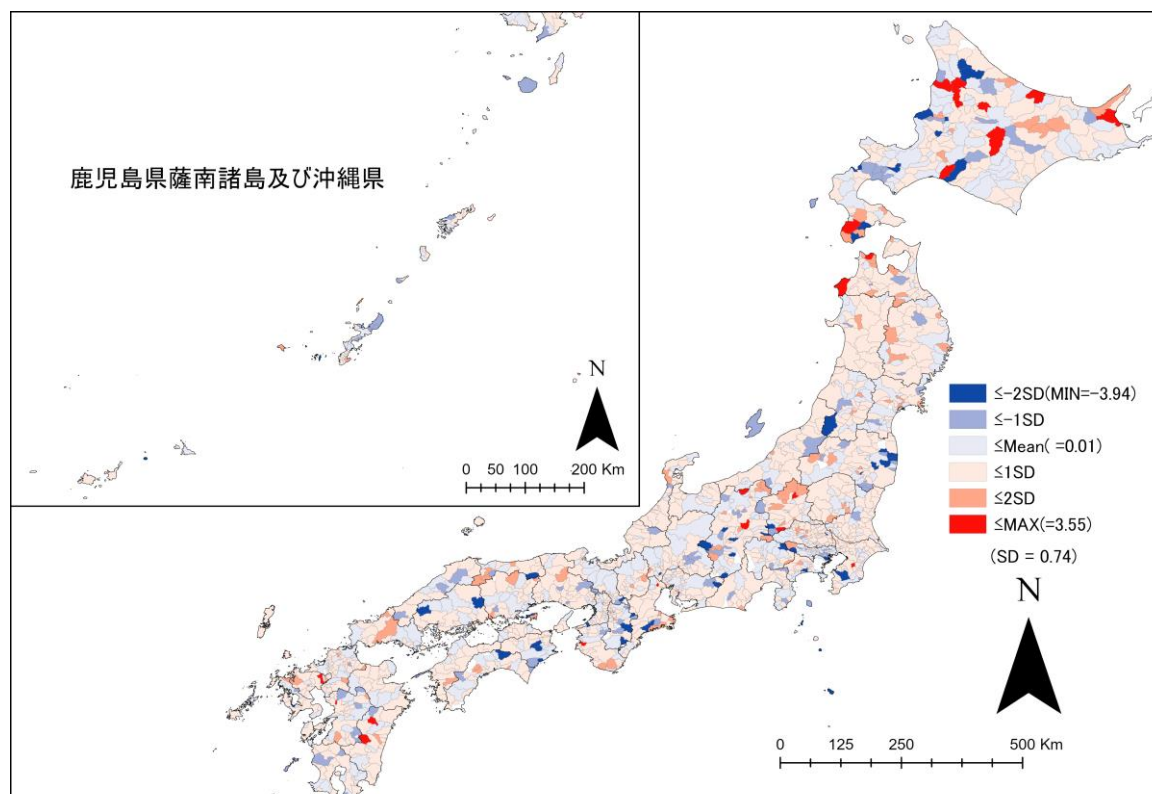
- 県間の差を取り除いて、市区町村間の差を分析。

レベル 2：集団平均の比較

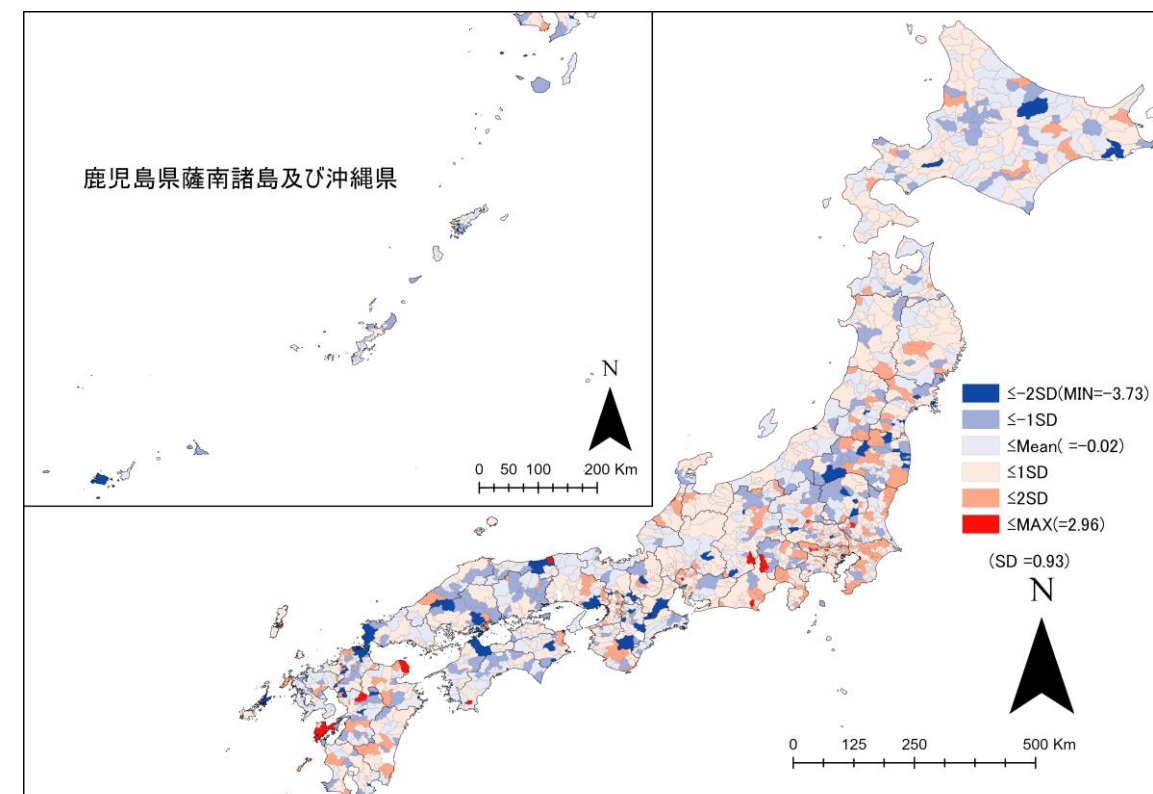
- 全体平均と県の値の差を分析。市区町村を統制。

結果

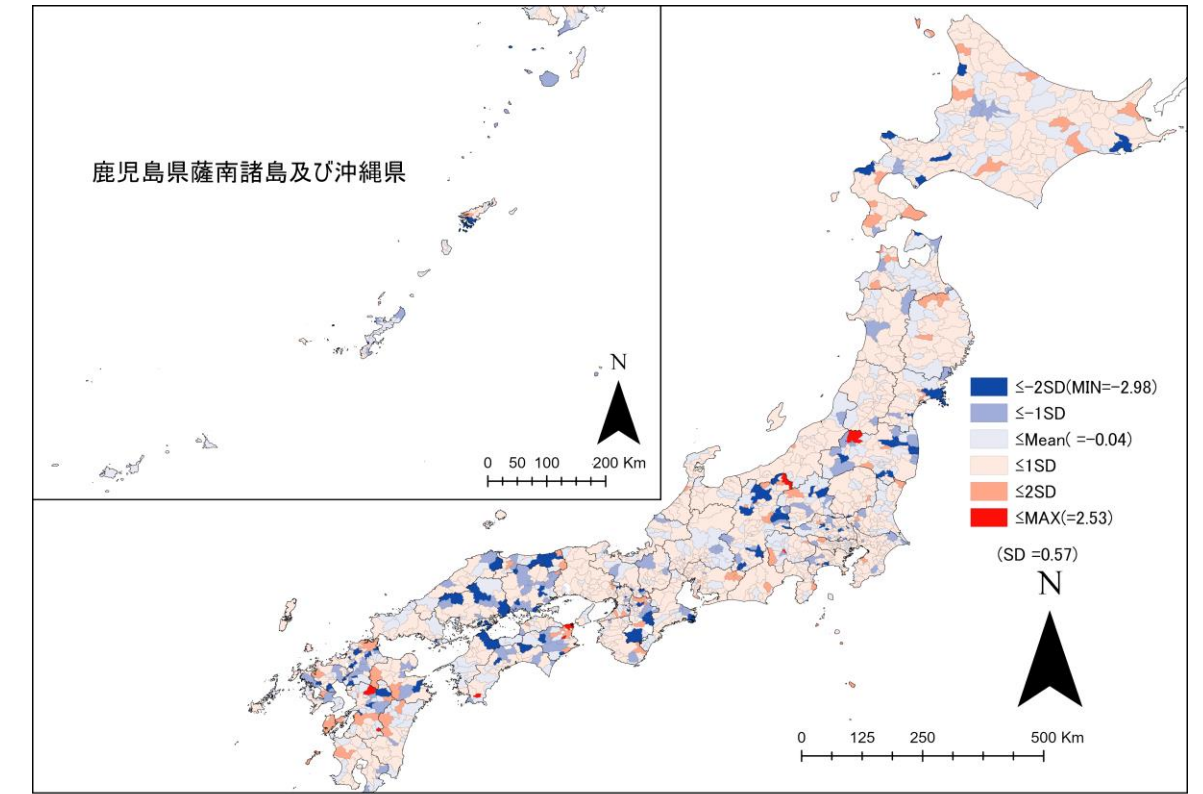
1.接種率の地理的分布（抜粋，標準化した接種率を投影）



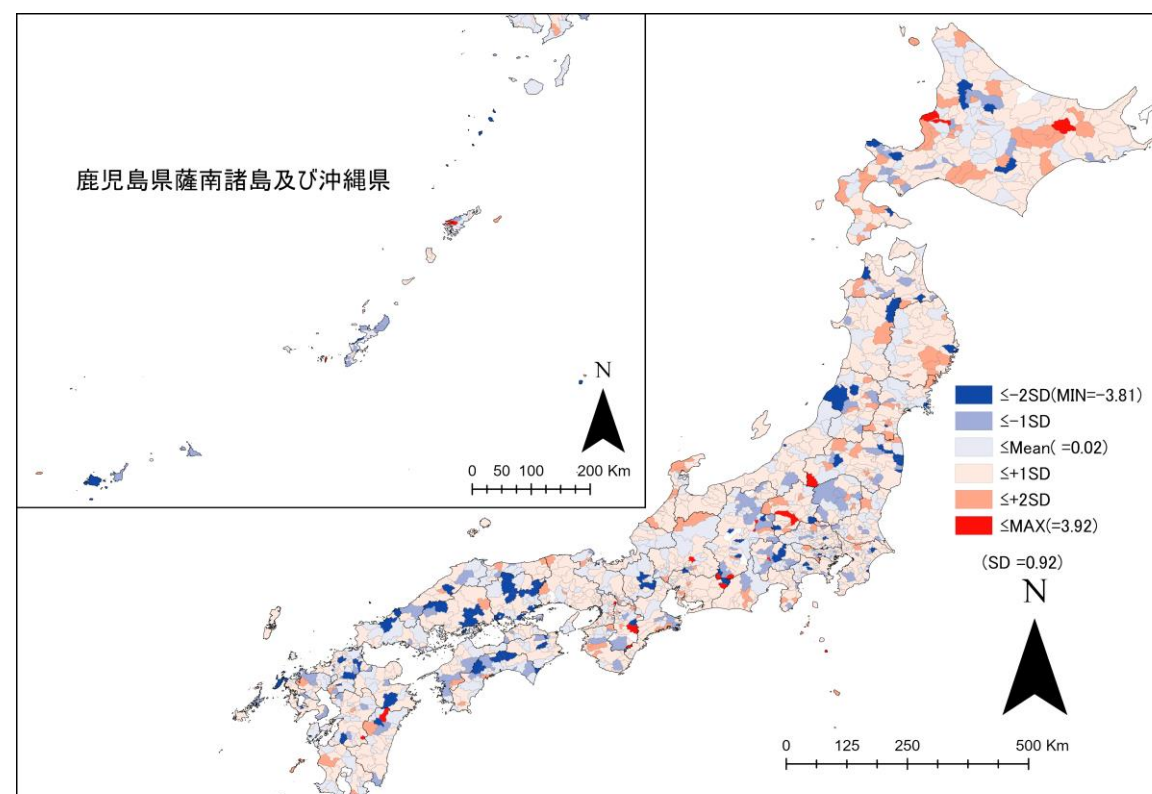
HBV1（B型肝炎初回, 月齢2ヶ月）



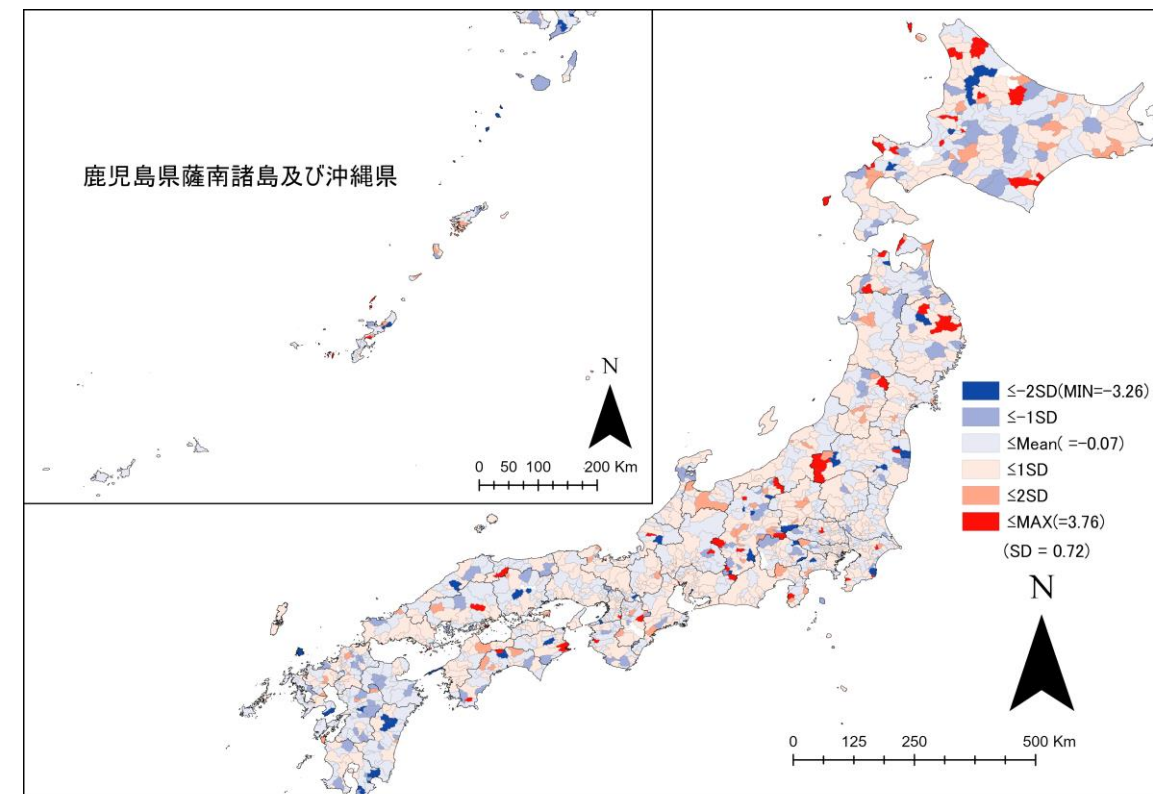
PCV1（小児肺炎初回, 月齢2ヶ月）



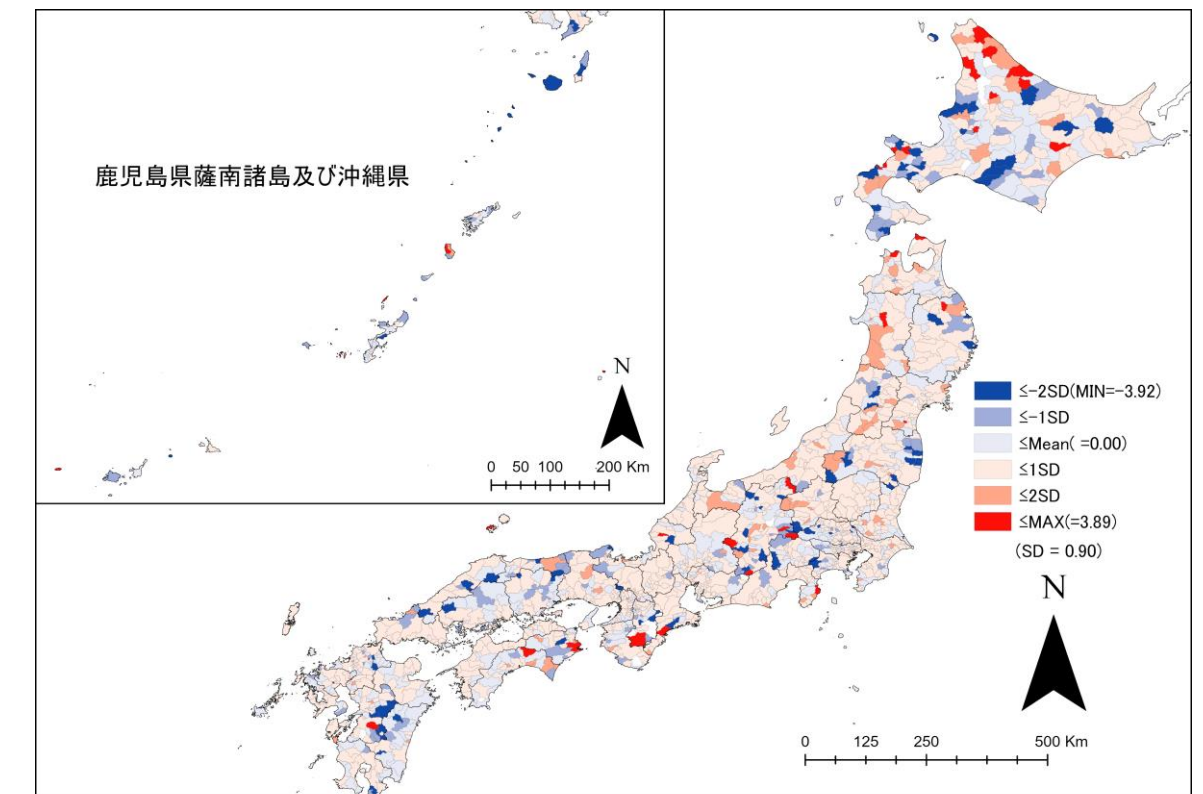
DPT-IPV1（四種混合初回, 月齢3ヶ月）



BCG（結核, 月齢5ヶ月）

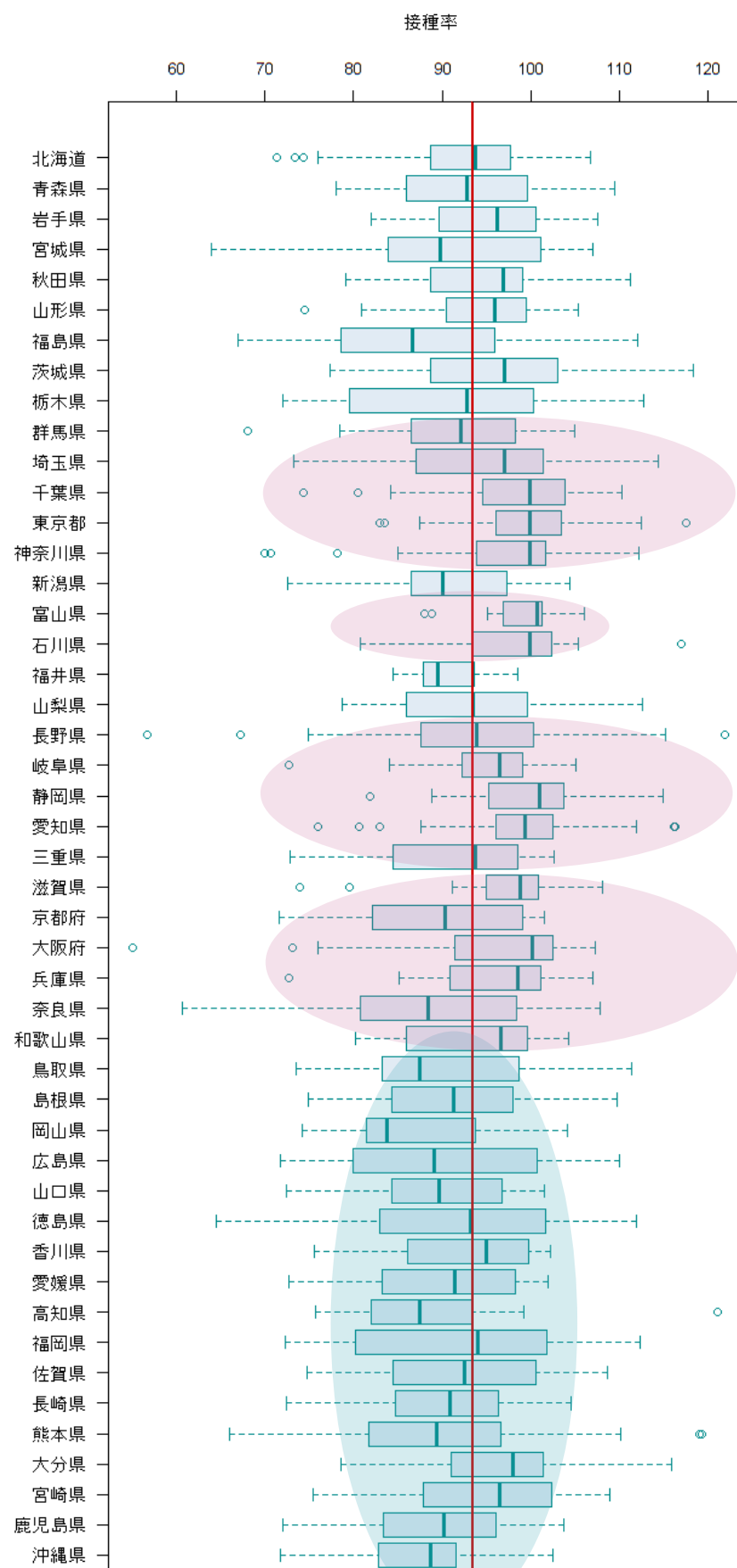


VAR1（水痘初回, 12ヶ月）

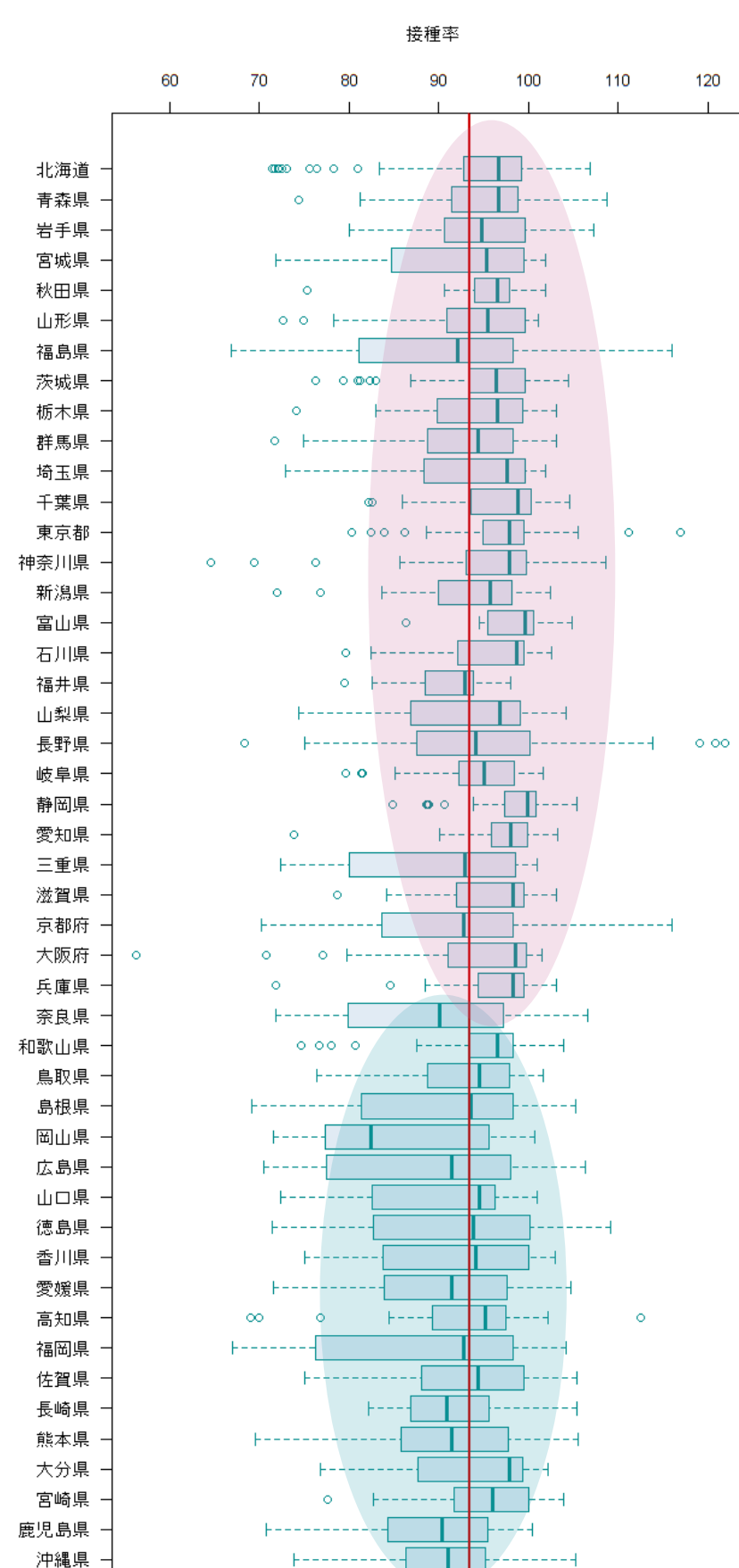


MR（麻疹風疹, 12ヶ月）

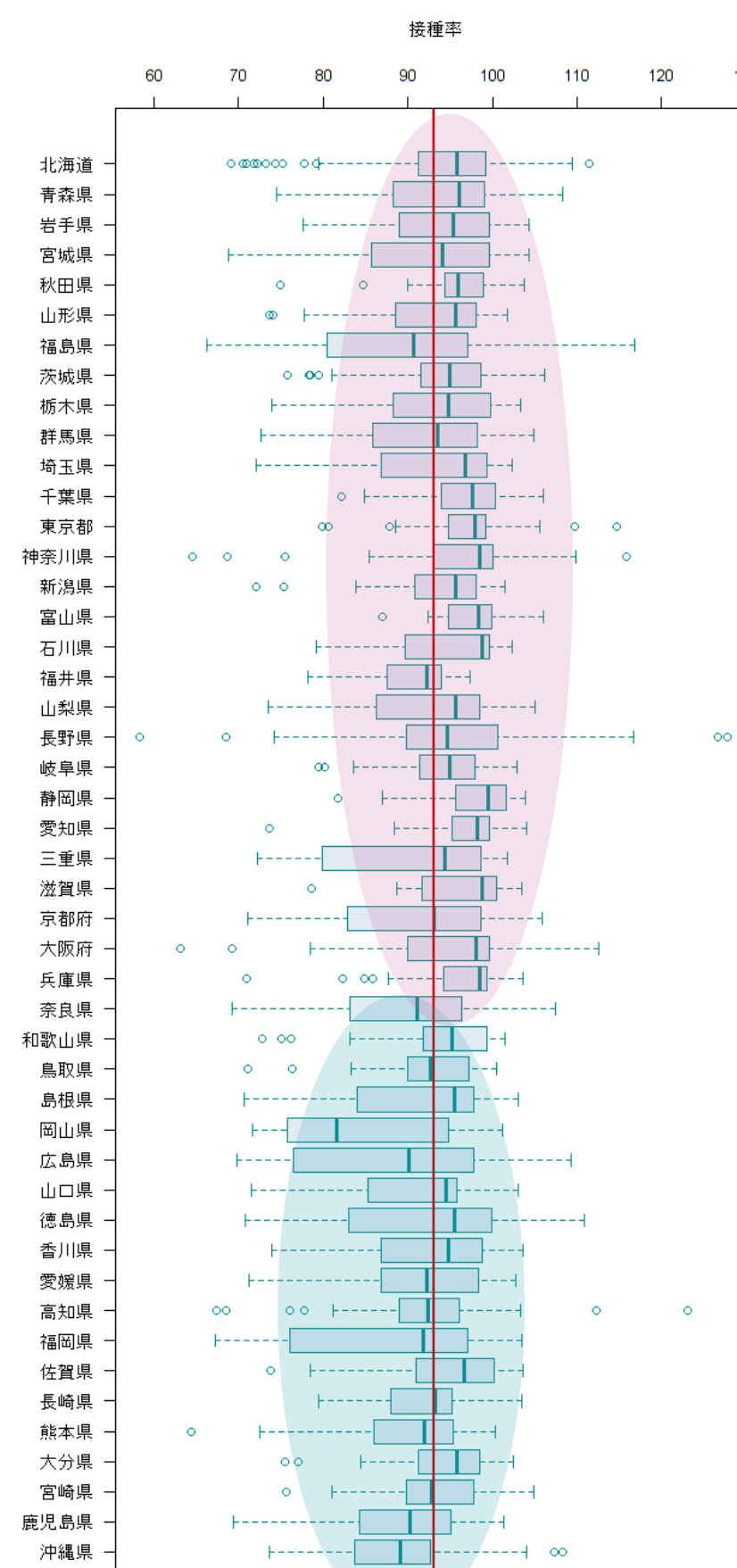
2. 接種率の県別箱ひげ図（抜粋：Hib1~4, 赤線が全体平均）



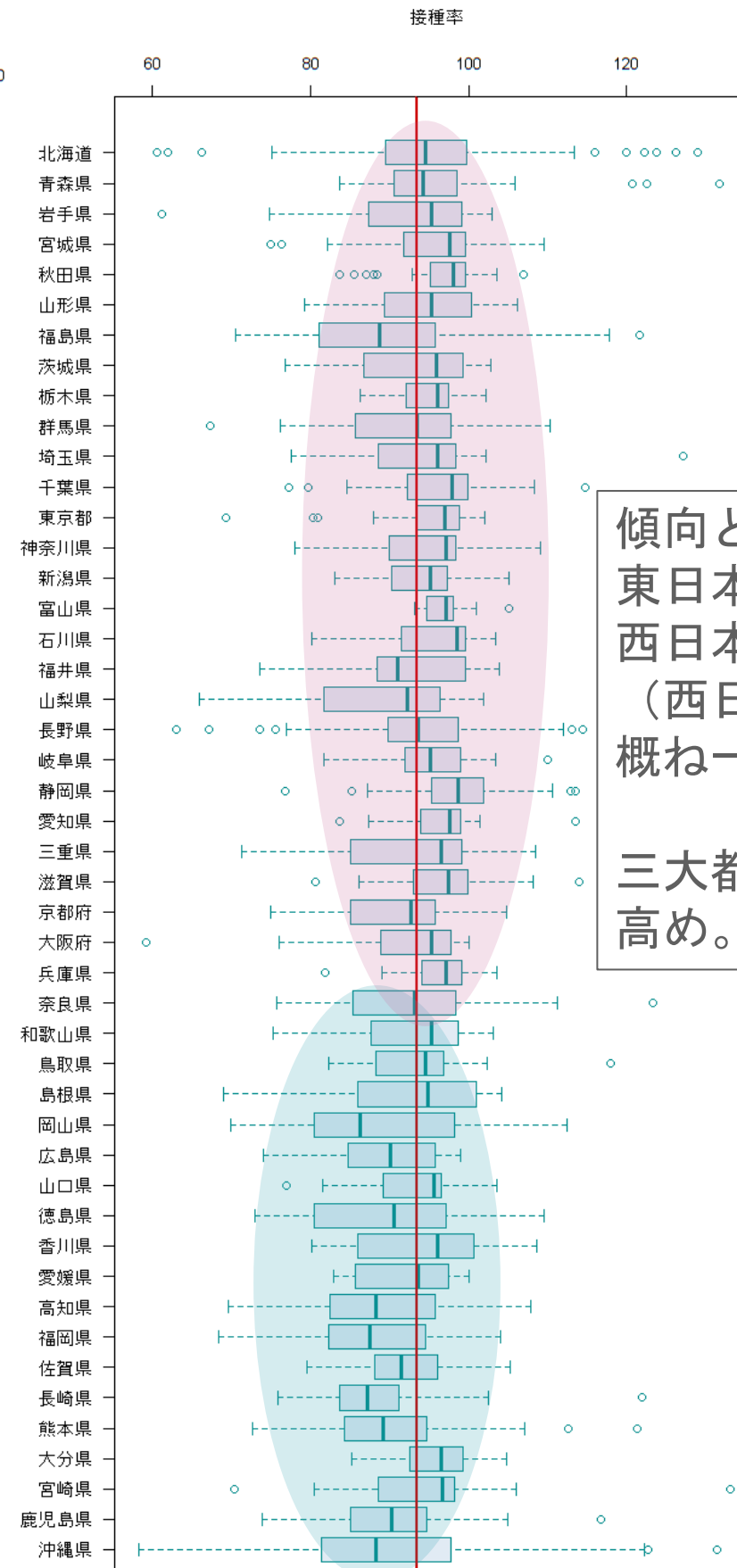
Hib1（ヒブ初回, 月齢2ヶ月）



Hib2（ヒブ初回, 月齢3ヶ月）



Hib3（ヒブ3回目, 月齢4ヶ月）



Hib4（ヒブ4回目, 月齢12ヶ月）

傾向としては、
東日本は**高い**。
西日本は**低い**。
（西日本の低さは
概ね一貫した結果）

三大都市圏＋北陸も
高め。

3. 多変量解析の結果：重回帰モデル（モデル2）

モデル2		結核				四種混合（ジフテリア、百日咳、破傷風、ポリオ）			B型肝炎			ヒブ				麻疹風疹	小児用肺炎球菌				水痘	
		BCG	DPT-IPV1	DPT-IPV2	DPT-IPV3	DPT-IPV4	HBV1	HBV2	HBV3	Hib1	Hib2	Hib3	Hib4	MR	PCV1	PCV2	PCV3	PCV4	VAR1	VAR2		
個人要因																						
	母親の年齢（歳）		-0.63**			0.56*	-0.80***	-0.49*		-0.47†				-0.58***	-0.66*				-0.52*	1.40***		
	世帯平均児童数（人）		-12.04***	-5.40	-6.29†		-4.81†	-7.49*	-9.69*		-6.07	-6.36	-14.34***	-11.35***	-7.77	-7.58*	-8.70*	-17.09***	-12.77***			
	ひとり親世帯率（％）	-0.25**	-0.22*	-0.18	-0.32**				-0.60***	-0.28*	-0.38***	-0.40***	-0.19	-0.24***	-0.33**	-0.35***	-0.35**	-0.18	-0.35***	-0.86***		
	共働き世帯率（％）		0.06**				0.05***	0.06***											-0.07***	-0.13***		
	乳幼児検診受診率（％）	0.12***	0.06*	0.07*	0.06*	0.29***	0.05*	0.05*	0.11**			0.05	0.26***	0.20***				0.28***	0.21***	0.49***		
	外国人出生率（％）									0.38*			0.35*		0.32					0.33		
	保育所児童率（％）																			-0.02**		
	人口の社会増減率（％）	-0.51				-0.98*				0.73					1.04*					-1.36*		
	一人当たり課税所得（log x）	2.49*	6.74***	3.47**	3.89**	5.30**		2.40		8.75***	5.81***	7.69***	4.97**	3.46***	8.7***	6.99***	7.74***	5.81***				
環境要因																						
	市部・郡部（郡部=0, 市部=1）		0.80							1.57**				0.90**	1.51**				-0.94*	-2.56***		
	保健衛生職員率（％）					0.14		0.10				0.16*		0.10					0.13†	0.24†		
	集団接種の実施（無=0, 有 =1）	2.24***			0.72	1.31*	-0.93*							1.00**			0.87			2.65**		
	小児科診療医（無=0, 有 = 1）		-0.94†			-1.89***	1.54***	0.99**	1.74**	0.92				0.96**	1.10			-0.86				
注：† p<0.1, * p<0.05, ** p<0.01, ***p<0.001																						

注：† p<0.1, * p<0.05, ** p<0.01, ***p<0.001

背景色が灰色の予防接種＝階層効果が見られなかった。

→マルチレベルモデルでの分析を行わなかった。

世帯平均児童数、ひとり親世帯率、乳幼児健診受診率、一人当たり課税所得の関連は多くの種類で見られた。

4. 多変量解析の結果：階層線形モデル（モデル4）

レベル1（CWC）																				
変数名（単位）		BCG	DPT-IPV1	DPT-IPV2	DPT-IPV3	DPT-IPV4	HBV1	HBV2	HBV3	Hib1	Hib2	Hib3	Hib4	MR	PCV1	PCV2	PCV3	PCV4	VAR1	VAR2
個人要因																				
母親の年齢（歳）			-0.71**				-0.44*			-0.82**					-0.93**					1.10**
世帯平均児童数（人）			-4.99	0.73	0.07		-1.58		0.23		4.59	4.54	-7.66 †		3.35	2.27	2.11	-10.73		
ひとり親世帯率（％）		-0.09	-0.13	-0.03	-0.16				-0.60***	-0.12	-0.24 †	-0.21 †	-0.06		-0.14	-0.22 †	-0.19			-0.68***
共働き世帯率（％）			0.04				0.06**													-0.08*
乳幼児検診受診率（％）		0.08**	0.07*	0.07*	0.07*		0.04		0.12**			0.06	0.23**					0.22**		0.36***
外国人出生率（％）										0.15			0.37*		0.14					0.10
保育所児童率（％）																				-0.02**
人口の社会増減率（％）		0.29								1.34**					1.74***					-0.66
一人当たり課税所得（log x）		1.89	5.30**	3.59*	4.07*					3.99 †	4.76*	7.10***	5.34**		4.86*	5.71**	7.48***	5.67**		
環境要因																				
市部・郡部（郡部=0, 市部=1）			0.58							1.34*					1.37*					-2.80***
保健衛生職員率（％）													0.11							0.16
集団接種の実施（無=0, 有 =1）		1.96***			0.16		-0.81 †										0.22			2.25**
小児科診療医（無=0, 有 = 1）			-0.65				1.75***		2.00***	0.91					1.27*			-0.55		

注：† $p<0.1$, * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$, CWC = 集団平均中心化。

- レベル1（市区町村）の回帰係数とp値（カットオフポイントは $p<0.05$ ）
- 全体的には所得と健診受診率が有意に関連する傾向。
- 他の変数は予防接種の種類や接種時期によって異なる。

5. 多変量解析の結果：階層線形モデル（モデル4）

レベル2（Mdev）		BCG	DPT-IPV1	DPT-IPV2	DPT-IPV3	DPT-IPV4	HBV1	HBV2	HBV3	Hib1	Hib2	Hib3	Hib4	MR	PCV1	PCV2	PCV3	PCV4	VAR1	VAR2
個人要因	母親の年齢（歳）		0.01				-2.63***			1.42					0.99					2.57
	世帯平均児童数（人）		-31.55*	-19.32	-22.03 †		-16.29*		-32.67*		-37.60*	-36.16*	-27.16 †		-39.07*	-35.13*	-40.45**	-22.34 †		
	ひとり親世帯率（%）	-0.83**	-0.11	-0.54	-0.74 †				-0.33	-0.56	-0.39	-0.55	-0.53		-0.14	-0.43	-0.52	-0.70		-1.27
	共働き世帯率（%）		0.11				0.02													-0.20 †
	乳幼児検診受診率（%）	0.15*	0.05	0.03	0.01		0.10 †		0.09			0.01	0.25					0.31		0.87 †
	外国人出生率（%）									1.02			0.15		1.00					0.17
	保育所児童率（%）																			-0.02
	人口の社会増減率（%）	-4.78**								-2.54					-1.28					-2.64
	一人当たり課税所得（log x）	6.71	4.18	0.77	-0.55					5.64	2.25	4.27	3.99		-0.31	3.97	1.85	3.44		
環境要因	市部・郡部（郡部=0, 市部=1）		2.50							3.10					1.88					-0.11
	保健衛生職員率（%）											0.33								1.18
	集団接種の実施（無=0, 有 =1）	4.11*			3.21		-1.51										3.53			3.02
	小児科診療医（無=0, 有 = 1）		0.23				1.93		4.07 †	4.33					6.28			-0.04		

注： † $p<0.1$, * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$, Mdev =都道府県平均の偏差化。

- レベル2（市区町村）の回帰係数とp値（カットオフポイントは $p<0.05$ ）
- レベル2では世帯当たりの児童の数が有意に関連する傾向。
- BCGのみレベル2で有意な関連を持つ変数が複数。
- BCG以外はほとんどレベル2の変数とは関連を持たず。

考察・結論

1. 結果の解釈：健康格差と小規模地域の影響

- 大都市圏（東京、愛知、大阪の周辺）では接種率が高い傾向。
 - 所得と世帯当たりの子供の数が少ない傾向が影響したと考えられる。
 - 子どもに対するリソースの投下量に地域レベルで格差が存在するかも＝健康格差
 - ただし、その関連要因は地域スケールによって異なる可能性。
- 西日本における接種率の低さ
 - アクセシビリティ（中山間地域など）が影響している可能性。実証はできていない。
- モデルの誤差は内陸部で多く見られた。
 - 藤田（2007）の「社会的空白地域」（人口自然減多＋高齢者多の地域）の分布に類似。
 - 既往研究で小規模人口地域を対象としたものが少ない。固有の変数が存在する可能性。

2. 本研究の制約について

1. 生態学的誤謬の可能性（地域≠個人）

2. 予防接種率は推計値。

特に人口規模の小さい地域の誤差が大きくなっている可能性。100%を超えてしまうことも。

3. データの取得年度のばらつき。

国勢調査は5年に1回のみ。一部のデータセットは対象年度各年では用意できず。

4. モデルの当てはまりがあまりよくない（モデルの前提とデータの分布）

3. 結論

- 日本の予防接種率は全般的に高い。
- ただし、その接種率には地域差が存在しうる。
- 地域レベルでの社会経済的状況の差は接種率の地域差に関連しうる。
 - 諸外国の既往研究の結果にも一致。健康格差ともいえるかも。
- 小規模地域における実態の把握が必要。

文献（日本語）

- 磯野富美子・鈴木みゆき・牛島廣治 2004. 保育所に通う外国籍幼児における予防接種の状況とその養育者の予防接種および育児に関する認識. 小児保健研究 63 (5): 563–69.
- 江原朗 2015. 小児科標ぼう医不在町村における乳幼児健診・予防接種の実施について：全国調査. 厚生指標 62 (12): 22–27.
- 大澤絵里, 秋山有佳, 篠原亮次, 尾島俊之, 今村晴彦, 朝倉敬子, 西脇祐司, 大岡忠生, 山縣然太郎 2019. 乳幼児期における適切な時期の予防接種行動に関連した個人レベルおよび地域レベル要因の検討. 日本公衆衛生雑誌 66 (2): 67–75. https://doi.org/10.11236/jph.66.2_67.
- 杉下由行, 林邦彦, 森亨, 堀口逸子, 丸井英二 2012. 東京都多摩地区におけるbcg 接種率と接種体制の関係についての研究. 感染症学雑誌 86 (2): 127–133. <https://doi.org/10.11150/kansenshogakuzasshi.86.127>.
- 中谷友樹 2011. 健康と場所—近隣環境と健康格差研究—. 人文地理 63 (4): 360–377. https://doi.org/10.4200/jjhg.63.4_360.
- 根路銘安仁, 今中啓之, 藤山りか, 児玉祐一, 武井修治, 河野嘉文 2006. 種子島の保育所・幼稚園における予防接種状況：第1報 -予防接種率調査-. 小児保健研究 65: 822–826.
- 羽田敦子, 大日康史. 2010. “大阪府における麻疹対策の現状と問題点.” 小児感染免疫 22 (2): 164–68.
- 藤田佳久 2007. 森林再生物語——禿げ山時代から森林時代へ——. 小長谷有紀・中里亜夫・藤田佳久 編『アジアの歴史地理3 林野・草原・水域』, 1版., 53–74.

文献（英語, 国外）

- Delamater, Paul L., Timothy F. Leslie, and Y. Tony Yang. 2018. “Examining the Spatiotemporal Evolution of Vaccine Refusal: Nonmedical Exemptions from Vaccination in California, 2000–2013.” *BMC Public Health* 18 (458). <https://doi.org/10.1186/s12889-018-5368-y>.
- Dubé, Eve, Dominique Gagnon, Noni MacDonald, Aurélie Bocquier, Patrick Peretti-Watel, and Pierre Verger. 2018. “Underlying Factors Impacting Vaccine Hesitancy in High Income Countries: A Review of Qualitative Studies.” *Expert Review of Vaccines* 17 (11): 989–1004. <https://doi.org/10.1080/14760584.2018.1541406>.
- Figueiredo, Alexandre de, Iain G Johnston, David M D Smith, Sumeet Agarwal, Heidi J Larson, and Nick S Jones. 2016. “Forecasted Trends in Vaccination Coverage and Correlations with Socioeconomic Factors: A Global Time-Series Analysis over 30 Years.” *The Lancet Global Health* 4 (10): e726–35. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(16\)30167-X](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(16)30167-X).
- Holipah, Holipah, Asri Maharani, Sujarwoto Sujarwoto, Takuji Hinoura, and Yoshiki Kuroda. 2020. “Trends, Spatial Disparities, and Social Determinants of DTP3 Immunization Status in Indonesia 2004–2016.” *Vaccines* 8 (3): 518. <https://doi.org/10.3390/vaccines8030518>.
- Mosser, Jonathan F, William Gagne-Maynard, Puja C Rao, Aaron Osgood-Zimmerman, Nancy Fullman, Nicholas Graetz, Roy Burstein, et al. 2019. “Mapping Diphtheria-Pertussis-Tetanus Vaccine Coverage in Africa, 2000–2016: A Spatial and Temporal Modelling Study.” *The Lancet* 393 (10183): 1843–55. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)30226-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)30226-0).

文献（英語, 国内）

- Matsumura, Takayo, Takeo Nakayama, Shigeru Okamoto, and Hideko Ito. 2005. “Measles Vaccine Coverage and Factors Related to Uncompleted Vaccination among 18-Month-Old and 36-Month-Old Children in Kyoto, Japan.” *BMC Public Health* 5 (1): 59. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-5-59>.
- Sakai, Rie, Günther Fink, Wei Wang, and Ichiro Kawachi. 2015. “Correlation Between Pediatrician Supply and Public Health in Japan as Evidenced by Vaccination Coverage in 2010: Secondary Data Analysis.” *Journal of Epidemiology* 25 (5): 359–69. <https://doi.org/10.2188/jea.JE20140121>.
- Sugishita, Yoshiyuki, Junko Kurita, Takanobu Akagi, Tamie Sugawara, and Yasushi Ohkusa. 2019. “Determinants of Vaccination Coverage for the Second Dose of Measles-Rubella Vaccine in Tokyo, Japan.” *The Tohoku Journal of Experimental Medicine* 249 (4): 265–73. <https://doi.org/10.1620/tjem.249.265>.
- Ueda, Michiko, Naoki Kondo, Misato Takada, and Hideki Hashimoto. 2014. “Maternal Work Conditions, Socioeconomic and Educational Status, and Vaccination of Children: A Community-Based Household Survey in Japan.” *Preventive Medicine* 66 (September): 17–21. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2014.05.018>.
- Yahata, Yuichiro, Hirohisa Imai, Yoshiharu Fukuda, Yong Zhang, Tomoko Satoh, Hiroyuki Nakao, Kazuhiko Moji, and Kenichi Amano. 2007. “BCG Immunization Age in Urban and Rural Areas of Akita Prefecture, Japan.” *Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY* 26 (5): 547–51. <https://doi.org/10.2114/jpa2.26.547>.

要約

研究の背景

日本では接種率の地域差を調べた研究がなく、その要因（候補）も不明。

分析手法

2013年-2018年の乳幼児（0~24ヶ月）が受ける予防接種率の平均値を市区町村ごとに描画。変数を投入した重回帰分析and/or階層線形分析。

分析の結果

接種率は三大都市圏で高い。西日本は低い傾向。市区町村レベルでは所得が、都道府県レベルでは世帯の平均子供数が相関。

考察

社会経済的状況が予防接種へのアクセスに影響していた可能性。
地理的差異の要因は不明。