

4 父母の喫煙習慣と出生力：傾向スコアを用いた影響分析

岩澤 美帆
鎌田 健司

1. はじめに

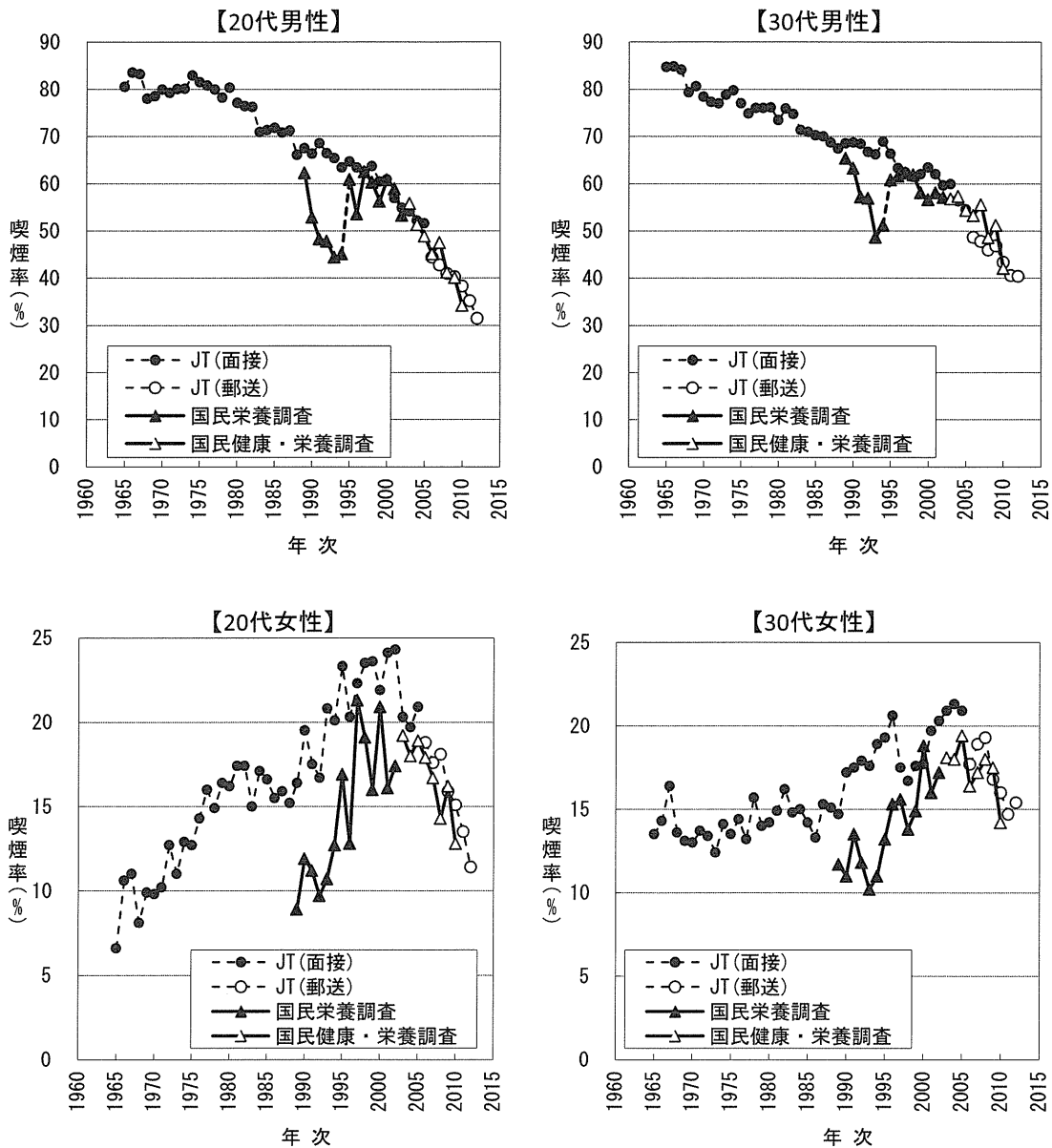
妊娠前や妊娠中の女性の喫煙やパートナーの喫煙による受動喫煙は、疫学的な研究により、妊孕力低下や胎児死亡（流死産）のリスク要因になることが知られている (Augood et al. 1998, Dechanet et al. 2011)。したがって喫煙習慣の広がり (prevalence) は出生力にも影響を与えると考えられる。日本においては、近年の出生力低下に関し、ライフスタイルや意識の変化、社会経済的な阻害要因の存在がクローズアップされてきたが、妊孕力や胎児死亡といった出生力の近接要因も出生力の変動要因として無視できない。胎児死亡の要因は、妊娠年齢や染色体異常、環境における有毒物質など様々なものがあるが (Gray et al. 1993)、喫煙は行動的な側面として政策介入が可能な要因であり、かつ、近年の再生産年齢女性の喫煙率の上昇を鑑みると、喫煙習慣による出生力へのマイナス効果を定量的に把握する重要性が増していると考えられる。

本研究では、「21 世紀出生児縦断調査（平成 13 年出生児）」における対象児の父母（夫妻）の情報を用い、父母の喫煙習慣と子ども数との関係を検証することにより、日本における喫煙習慣による出生数抑制効果を明らかにする。さらに、本研究では喫煙者の属性が非喫煙者に比べ著しく偏っていることに注目し、喫煙以外の条件の違いがもたらす影響を観察されたデータ情報をもとに可能な限り取り除くことができる傾向スコア分析の方法論を用いて喫煙の因果効果を再確認する。

2. 背景

近年の日本における出生力の低迷に関しては、ライフスタイルや意識の変化、働き方の変化、社会経済的な阻害要因、家族政策の違いなどが注目されてきた (目黒・矢澤ほか 2000、大淵・高橋ほか 2004、樋口ほか 2006、山口 2009、阿藤ほか 2011)。しかし出生力の近接要因モデル (Bongaarts and Potter 1983) に従えば、出生力は出生の意志決定や配偶関係のみならず、受胎確率や妊娠が出生に至る確率にも影響を受ける。これらの要因には、妊娠や出産に関わる生物学的な側面が直接作用するほか、健康に悪影響を与える行動的側面 (喫煙や飲酒、厳しい労働状況) や心理的ストレスなどが作用する。こうした、いわゆる出生の供給側面に着目した研究は、社会経済的な環境と出生の意志決定の関係といった出生力の需要側面に着目した研究に比べ、日本では蓄積が少ない (佐藤 2008)。一方で、出生動向基本調査によれば、理想や予定の子どもを持たない理由として健康上の理由を挙げる夫婦の割合が年々増加しており、出生力の供給側面に関する実態解明が求められている (守泉・鎌田 2012)。本研究では、こうした問題意識の一環として、出生力に関わる健康に影響する要因としての再生産年齢男女の喫煙習慣に着目する。妊娠中および妊娠前の母親の喫煙は、妊孕力を低下させ (Bolumar et al. 1995)、胎児死亡 (流死産) 確率を有意に上昇させることが欧米の研究で知られている (Chatenoud et al. 1998, Nielsen et al. 2006)。また、夫の喫煙による受動喫煙も、妊娠初期の胎児死亡に影響するとの知見が得られている (Venners et al. 2004)。

図1 日本人の喫煙率の推移



データ：「全国たばこ喫煙者調査」(JT) 各年、「国民栄養調査」「国民健康・栄養調査」(厚生労働省) 各年喫煙者の定義

「全国たばこ喫煙者調査」：たばこを「毎日吸う」「時々吸う」と回答した者

「国民栄養調査」：「現在吸っている」と回答した者

「国民健康・栄養調査」：これまで合計100本以上又は6ヶ月以上たばこを吸っている(吸っていた)者のうち「この1ヶ月間に毎日、又は時々たばこをすっている」と回答した者

日本における喫煙習慣は、JTおよび厚生労働省によるたばこ喫煙率の時系列変化によれば、男性の喫煙率は1960年代から減少している一方で、女性喫煙者は1990年代に増加している(図1)。仮に妊娠中の女性の喫煙率も上昇しているならば、流死産を含む妊婦の妊娠合併症を増加させ、出生力を抑制することになる。一方、父親やパートナーの喫煙による受動喫煙が減少しているとすれば、出生力へのマイナスの効果も緩和している可能性もある。ただし、実際に喫煙が出生力にどの程度の影響を与えるのかについては、日本において大規模標本を使って検証した結果はな

い。国外のデータを用いた検証結果については、妊産婦のサポート体制や喫煙率そのものが違うということもあり、日本人にそのまま適用できるか定かではない。そこで、本研究では、厚生労働省統計情報部が実施している「21世紀出生児縦断調査（平成13年出生児）」のデータを用い、対象児の親である父母の喫煙習慣の有無が、父母（夫妻）の子ども数にどのような差異をもたらしているかを検証した。

3. 先行研究

これまでの疫学的な研究により、喫煙は、妊孕力の低下、有害な生殖結果といった様々なリスクを高めることが確認されている(Dechanet et al. 2011)。こうしたリスクには流産、前置胎盤、早期破水、早産、低体重児などが含まれる。また、女性の能動喫煙や男性の喫煙による受動喫煙は、受胎待ち時間を長期化させることも分かっている。1日21本以上(Hull et al. 2000)、1日16本以上(Hassan and Killick 2004)のタバコ喫煙が受胎待ち時間を有意に長くするといった結果が得られている。流死産確率については、Kline et al. (1995)は、1日14本以上の喫煙で、染色体異常のない胎児の死亡リスクを上げることを示している。

出生動向基本調査によると、近年の日本における1妊娠あたりの流死産確率は30歳で0.094であった(岩澤 2012) (図2)。Chatenoudら(1998)は、イタリアの医療施設ベースのケース・コントロール研究をもとに、喫煙していた妊婦の流死産のオッズ比が非喫煙者に対し1.3倍であることを示している。仮に出生動向基本調査の0.094を非喫煙者の流死産確率と見なすと、オッズ比が1.3倍となる喫煙者の流死産確率は0.119となる。すなわち、非喫煙者の出生数を100%とすると、喫煙者の出生数は97.3%に抑制される計算となる。これは非喫煙者の出生数が2.0であった場合、喫煙者の出生数は1.95しか実現しないことを意味する。

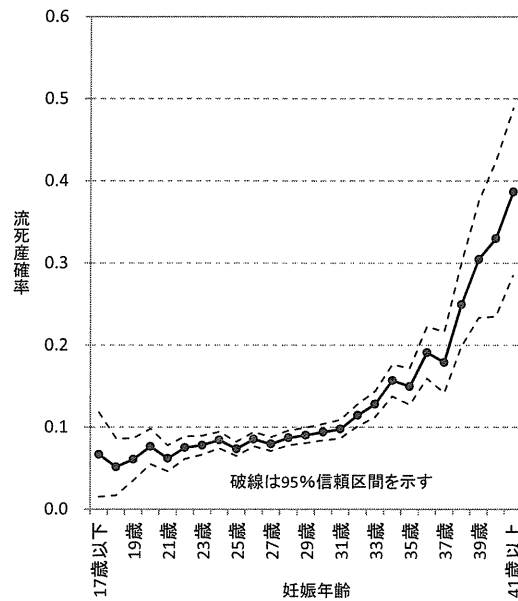
また、喫煙と受胎待ち時間との関係に着目したメタアナリシス（過去に報告された多数の研究結果を、統合して再分析する方法）によれば、12の研究に基づき、受胎待ち時間が一定以上になる不妊に関するオッズを喫煙者と非喫煙者で比べたオッズ比は、コホート調査で1.42、ケース・コントロール研究で2.27、全体で1.60であった(Augood et al. 1998)。

受胎待ち時間の長期化や流死産確率の上昇は、結果としての出生児数にマイナスの影響を与えると考えられる。しかし、日本については、これまで出生力との観点から喫煙の影響を分析した研究はない。出生力の観点を取り入れるためには、全国から抽出された、出生履歴を含む様々な属性が含まれる大規模標本調査が用いられることが望ましい。そこで、本研究では、大規模標本調査である「21世紀出生児縦断調査（平成13年出生児）」を用いて、喫煙習慣と出生力の関係を明らかにする。

4. データ

分析には厚生労働省統計情報部による「21世紀出生児縦断調査（平成13年出生児）」のデータを用い、2001年時点で同居している父母を対象とする。すなわち2001年に出生経験のある、子どもを1人以上生んでいる夫妻が対象であると言い換えることができる。

図2 妊娠年齢別にみた妊娠1回あたりの流死産確率



データ：「出生動向基本調査」(岩澤 2012)

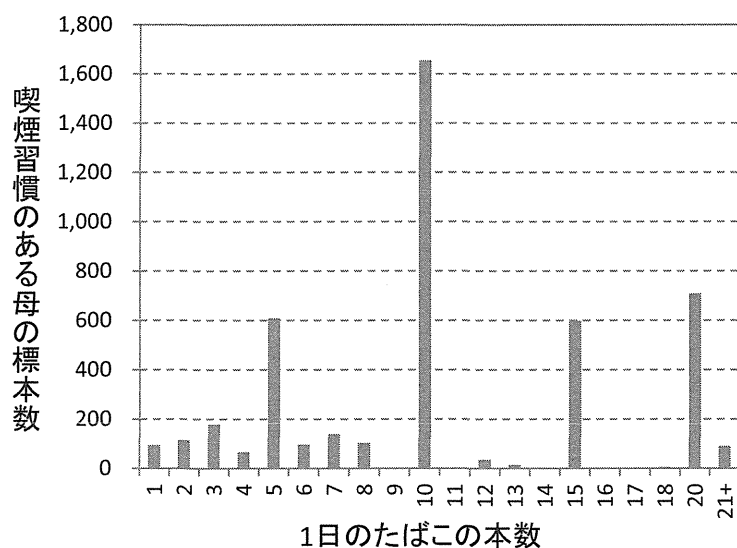
死産、(7)先天性形成異常、といったものが考えられる(Cnattingius 2004)。残念ながら出生児縦断調査には、流産経験や妊娠中の問題に関する情報はない。そこで、できるだけ条件を揃えた集団について、喫煙習慣の有無が最終的な子ども数(既往出生児数)に有意な差をもたらしているかを見ることで、喫煙の出生力に対する総合的な影響を明らかにする。

分析対象となった夫婦数(母の数)は、30,930であり、第1回調査時において母が喫煙しているケースが3,819(12.3%)、喫煙していないケースは27,111(87.7%)であった。また喫煙習慣のある母の1日のたばこの本数の分布を図3に示したが、1日10本が最も多いケース数となっている。この情報を用い、喫煙習慣の有無のみならず、喫煙本数と子ども数との間に量-反応関係があるかを検証することで、喫煙の直接的影響を確認する。

なお、出生児縦断調査における最初の喫煙の情報は、対象児が生まれてから半年後の時点のものとなる。従って、妊娠中の喫煙の有無ではない。また、出生児を対象にしている調査であるため、第1回調査の父母の喫煙の情報は、第1子の出産後である場合もあれば、第3子の出産後である場合もある。本研究では、妊娠中の喫煙の当該に妊娠に与える影響というよりも、再生産期間全般にわたる喫煙習慣が生涯の出生力に与える影響をとらえていることになる。ただし、喫煙の情報が得られた際にすでに生んでいる子ども数を統制することはできる。具体的には、主効果の他に、喫煙と対象児第2子、喫煙と対象児第3子以上、の交互作用項を投入し、調査時点の影響を統制する。参考までに対象児の親の結婚と出生イベントに関する生命線を図4に示した。

以上の目的から、処置変数である父母の喫煙状況は、(1)父母の喫煙習慣の有無、(2)母の1日の喫煙本数(喫煙なし、1~5本、6~10本、11本以上)、(3)母の喫煙習慣の有無と対象児の出生順位との交互作用効果、の3項目について分析を行った。

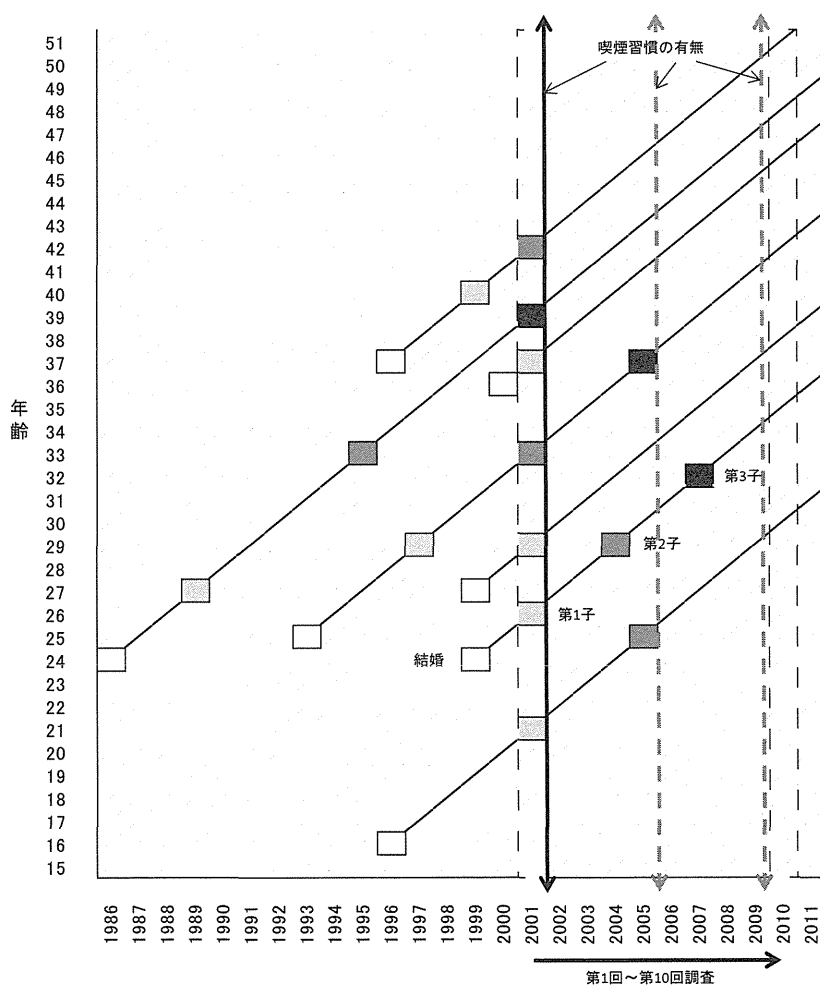
図3 21世紀縦断調査における1日のたばこ本数別にみた母の標本数（第1回調査）



データ：「21世紀出生児縦断調査」

注：喫煙習慣のある母 4,527 件について。この他、「たばこを吸っていない」母の標本数は 29,570 件となる。

図4 21世紀出生児縦断調査における母の結婚生命線と出生イベントの例および父母の喫煙習慣調査



注：本研究では対象児出生半年後（第1回調査）の父母の喫煙習慣と第10回時既往出生児数との関係を検証する。

従属変数である既往出生児数は父母の結婚年齢や結婚持続期間に規定され、また父母の社会的属性や世帯状況によって違いがもたらされると考えられる。今回のモデルでは、第1回および第2回調査から得られる情報を用い、第1子婚前妊娠ダミー、父母の学歴、対象児出生前後の母の就業、父の就業、父母の親との同別居、子育ての不安の有無、第10回時の父の同居の有無を共変量として用いた。

結婚年齢と出生力の関係は、上に凸の負の関係を示し、結婚年齢が30歳を過ぎると、出生力が明確に抑制される。父母の結婚年齢は16-22歳、23歳以上は3歳間隔でカテゴリを作成し、35歳以上を一括した。リファレンス・カテゴリは父母ともに26-28歳とした。

また、結婚持続期間が長いほど、既往出生児数は増加する。結婚持続期間は第10回時点での結婚持続期間を示し、10-11年、12-13年、14-15年、16-18年、19年以上とし、14-15年をリファレンス・カテゴリとしている。本研究は第1回時に両親がそろっている出生児を対象としているので、第10回調査時点で父母は少なくとも結婚10年目を迎えており、既往出生児数は完結出生児数に近い水準となる。

第1子婚前妊娠は、結婚後7ヶ月以内に第1子を出生した場合のダミー変数である。妊娠判明後に結婚した夫婦は、妊孕力の高さに結びつく特徴（例えば性交頻度の多さ、受胎確率の高さ、避妊実行率の低さなど）を持っている可能性があるため統制する。

父母の学歴は価値観や機会費用の違いを通じて出生タイミングに影響を与えると考えられる。第2回調査で回答されている父母の学歴で統制した。中学校、高校、専修・専門学校、短大・高専、大学・大学院とカテゴリをまとめた上で、高校をリファレンス・カテゴリとした。

母の就業状況は、対象児を出産した1年前の状況についての設問と出生半年後の育児休業取得に関する設問を用いて変数を作成した。カテゴリは無職・学生、常勤（出産後離職）、常勤（（出産後）育休取得あり）、常勤（（出産後）育休取得なし）、パート・アルバイト、自営業・その他とした。常勤（育休取得なし）については、勤める会社に育休があるかどうかわからないケースも含んでいる。リファレンス・カテゴリは無職・学生とした。

父の就業状況は世帯収入などにも関係し、出生の意志決定に影響する。対象児が出生した半年後の状況を示し、無職・学生、常勤、パート・アルバイト、自営業・その他、不詳とし、常勤をリファレンス・カテゴリとした。

父母の親との同居状況については、父母の親と別居、母の親と同居、父の親と同居とし、父母の親と別居している場合をリファレンス・カテゴリとした。なお、父母の親については片親との同居も含む。

子育ての不安の有無について、対象児が出生半年後の状況について訊いている設問を用いて負担に思う場合を1、そうでない場合は0としたダミー変数を作成した。子育てに関する不安は、追加出生意欲に影響すると考えられる。

最後に、第10回時点で父が離別や死別によって不在の場合についてのダミー変数を作成した。離婚などで父が世帯から出た場合、母の追加出生にマイナスの効果があると考えられる。ただし父が単身赴任の場合は含まない。

分析に用いた変数の記述統計を表1に示した。母の喫煙の有無別に共変量の構造を比較すると、

喫煙習慣のある母のほうが、結婚年齢が若い、婚前妊娠結婚が多い、学歴が低い、出産1年前にパート・アルバイトが多いなど、2群で属性構成に違いがあることが分かる。

表1 記述統計

	総数(N=30,930)		母喫煙あり(N=3,819)		母喫煙なし(N=27,111)	
	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.
従属変数						
第10回時子ども数(-1)	1.245	0.761	1.230	0.796	1.247	0.756
独立変数						
母結婚年齢						
16-22歳	0.113	0.316	0.240	0.427	0.095	0.293
23-25歳	0.305	0.460	0.335	0.472	0.301	0.459
26-28歳	0.345	0.475	0.248	0.432	0.359	0.480
29-31歳	0.158	0.365	0.113	0.316	0.164	0.371
32-34歳	0.053	0.225	0.041	0.198	0.055	0.228
35歳以上	0.026	0.158	0.023	0.148	0.026	0.160
父結婚年齢						
18-22歳	0.059	0.236	0.154	0.361	0.046	0.209
23-25歳	0.190	0.393	0.259	0.438	0.181	0.385
26-28歳	0.316	0.465	0.271	0.445	0.323	0.468
29-31歳	0.221	0.415	0.159	0.366	0.230	0.421
32-34歳	0.116	0.321	0.079	0.269	0.122	0.327
35歳以上	0.096	0.295	0.078	0.268	0.099	0.299
第10回時結婚持続期間						
10-11年	0.228	0.419	0.303	0.460	0.217	0.412
12-13年	0.275	0.446	0.280	0.449	0.274	0.446
14-15年	0.225	0.418	0.199	0.399	0.229	0.420
16-18年	0.185	0.388	0.146	0.354	0.190	0.393
19年以上	0.087	0.282	0.071	0.258	0.090	0.286
第1子婚前妊娠	0.192	0.394	0.354	0.478	0.169	0.374
母の学歴						
中学校	0.023	0.150	0.096	0.295	0.013	0.112
高校	0.369	0.482	0.521	0.500	0.347	0.476
専修・専門学校	0.194	0.395	0.210	0.408	0.191	0.393
短大・高専	0.257	0.437	0.130	0.336	0.275	0.447
大学・大学院	0.158	0.364	0.043	0.203	0.174	0.379
父の学歴						
中学校	0.051	0.221	0.154	0.361	0.037	0.189
高校	0.378	0.485	0.500	0.500	0.360	0.480
専修・専門学校	0.139	0.346	0.156	0.363	0.137	0.343
短大・高専	0.033	0.179	0.022	0.146	0.035	0.183
大学・大学院	0.399	0.490	0.167	0.373	0.431	0.495
母対象児出産1年前の就業状況						
無職・学生	0.452	0.498	0.426	0.494	0.456	0.498
常勤(出産後離職)	0.172	0.377	0.185	0.388	0.170	0.376
常勤(育休取得あり)	0.132	0.338	0.086	0.281	0.138	0.345
常勤(育休取得なし)	0.026	0.160	0.032	0.177	0.025	0.157
パート・アルバイト	0.161	0.368	0.204	0.403	0.155	0.362
自営業・その他	0.056	0.231	0.067	0.250	0.055	0.228
父の就業状況(対象児出生半年後)						
無職・学生	0.013	0.115	0.019	0.138	0.013	0.111
常勤	0.854	0.354	0.798	0.401	0.861	0.346
パート・アルバイト	0.011	0.105	0.017	0.130	0.010	0.101
自営業・その他	0.113	0.316	0.152	0.359	0.107	0.309
不詳	0.009	0.096	0.013	0.111	0.009	0.093
父母の親との同居						
父母の親と同居	0.794	0.404	0.776	0.417	0.797	0.402
母の親と同居	0.054	0.225	0.070	0.255	0.051	0.221
父の親と同居	0.152	0.359	0.154	0.361	0.152	0.359
子育ての不安の有無(対象児出生半年後)						
子どもを持って負担に思う	0.804	0.397	0.815	0.389	0.803	0.398
第10回時父不在	0.063	0.243	0.130	0.336	0.054	0.225
父母の喫煙状況						
父喫煙(対象児出生半年後)	0.593	0.491	0.921	0.269	0.547	0.498
母喫煙(対象児出生半年後)	0.123	0.329				
母喫煙(対象児出生半年後)カテゴリ						
喫煙なし	0.877	0.329				
1日1-5本	0.031	0.172	0.248	0.432		
1日6-10本	0.056	0.229	0.451	0.498		
1日11本以上	0.037	0.189	0.301	0.459		
母喫煙(対象児出生半年後)×対象児出生順位						
第1子	0.064	0.244	0.517	0.500		
第2子	0.045	0.208	0.366	0.482		
第3子以上	0.015	0.120	0.118	0.322		

5. 方法

(1) 既往出生児数に関するポアソン分布回帰分析

従属変数は第 10 回時点の既往出生児数である。図 5 に分布を示したが、1 から 9 の値をとる右に裾をひくデータであることが分かる。本研究では、喫煙の効果を含む、共変量効果の推定にはポアソン分布回帰モデルを用いた。ポワソン分布回帰モデルは、少数のカウントデータがポワソン分布に従って生起すると仮定できる場合に適用できる。子ども数は平均値が 2~3 となる非負の分布を示すため、通常の回帰モデルよりも、ポワソン分布回帰モデルが適合的であると考えられる。

ある時点においてあるイベントが発生する確率または期待値を μ 、 y を発生したイベント数を示すランダム変数であるとする。ある時には平均よりも発生回数が少なく、また別の時には多いようなイベントの場合、観察された y の発生確率は期待値 μ のポワソン分布に従う (Long and Freese 2006)。

$$\Pr(y | \mu) = \frac{e^{-\mu} \mu^y}{y!} \quad \text{ここで } y = 0, 1, 2, \dots$$

ポワソン分布の基本的な性質は以下の通りである。(1) μ は分布の平均を示し、 μ が大きくなるほど分布のピークは右にシフトする。(2) μ は同時に分散でもある。Var(y)= μ という関係となっているため、平均と分散が比例的に変化 (equidispersion) することを仮定している。(3) μ が増加するにつれて、0 カウントの確率が減少する。(4) μ が増加するにつれて、ポワソン分布は正規分布に近似する。

ポワソン回帰モデルは、それぞれの観測値が異なる μ の値を持つことを許容することによってポワソン分布に拡張された回帰モデルである。すなわち、観察されたイベント y_i はポワソン分布における期待値 μ_i であり、 μ_i は観察された特質から推定される。これは観察された異質性 (observed heterogeneity) として知られ、構造方程式が導かれる。

$$\mu_i = E(y_i | x_i) = \exp(x_i \beta)$$

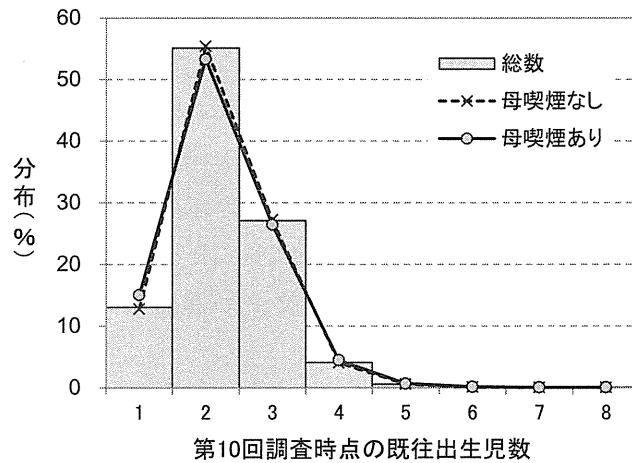
この式を対数変換をすると、

$$\log(\mu_i) = x_i \beta$$

となり、log をリンク関数とした一般化線形モデルの一つと位置づけられる。

なお、ポアソン分布は 0 以上をとる分布であるが、本分析に用いるデータは、出生児を対象とした縦断調査であり、父母の既往出生児は必ず 1 以上となる。事象が発生していないという情報が必要となるため、既往出生児数から 1 をマイナスした値を従属変数とした。

図5 喫煙習慣の有無別にみた第10回調査時既往出生児数



ここで、喫煙習慣の有無が子ども数に差をもたらすかを検証するにあたり、考慮しなければならないことは、喫煙者と非喫煙者の属性の構成に無視できない違いがないかということである。本来、注目する要因が結果変数に違いをもたらすかどうかを検証するためには、対象者を無作為に分け、要因の有無による違いを比較する無作為割り当て実験（ランダム化比較実験）が望ましい。しかし喫煙のような有害な行動を無作為に選んだ対象者に強いることは倫理的に問題がある。そこで、調査データに含まれる情報を用いて、出来る限り無作為割り当て実験と近い状況の元で比較できる方法として、傾向スコアを用いた分析手法を利用する。

(2) 傾向スコア分析

近年医学分野では、治療・曝露の因果効果の推定方法として傾向スコア分析が注目されている。傾向スコア分析は、無作為割り当てが行われる実験研究における因果効果の推定を、大規模調査を用いた「相関研究」においても実現できる手法として Rosenbaum and Rubin (1983) によって提案されたものである。傾向スコアとは、従属変数と独立変数の間の因果関係を推定するために、それ以外の変数で従属変数に関連する要因＝共変量を一つの変数に縮約した得点のことをいう。その共変量を基準として、無作為割り当て状況を作り出すというアイデアである（星野 2009、Guo and Fraser 2010）。

傾向スコアは第 i 被験者の共変量を x_i 、割り当て変数を z_i とするとき、群 1 へ割り当てられる確率 e_i は、以下のように示すことができる。

$$e_i = p(z_i = 1 | x_i) \text{ ただし } (0 \leq e_i \leq 1)$$

e_i を第 i 被験者の傾向スコアという（星野・繁柁 2004）。傾向スコアを算出するには、一般に割り当て変数を従属変数としたロジスティック回帰分析を行うことにより得られる。 $\hat{\beta}$ を最尤推定量であるとすると、以下のように推定される。

$$\hat{e}_i = \frac{1}{1 + \exp\{-x_i \hat{\beta}\}}$$

算出された傾向スコアを用いて共変量の調整を行うことによって、処置効果の因果効果を測定することが可能になる。Rosenbaum and Rubin (1983) は傾向スコアを用いた不偏推定を行う方法

として、以下の3手法をあげている。

- 1) マッチング：傾向スコアが等しい群の被験者をペアにして、その差をもって因果効果とするという方法である。ただし、傾向スコアが完全に一致するペアだけを抽出する場合、分析対象数が極端に減少してしまう事態が生じることが多い。そういった場合には、「処置群の観測値に対して最小の距離になる対照群の観測値をマッチングさせる最近傍マッチングや、最近傍マッチングを行った場合に『ある特定の距離以上になるときはマッチングしない』キャリパーマッチング (caliper matching) などを行なう」(星野 2009 p. 64)。
- 2) 層別解析：傾向スコアを5つ程度に分けて、それぞれの層別での処置群と対照群の平均の計算と、全体としての効果の推定量を算出する。
- 3) 共分散分析：割り当て変数と傾向スコアを独立変数として線形回帰分析を行う。
傾向スコアの利点としては、従属変数と共変量の回帰モデルを仮定する必要がないことにあり、傾向スコアは共変量を1変数に縮約しているため、処置群と対照群において外生要因・共変量の影響が少ない場合でも分析に用いることができる。共変量と従属変数のモデル設定を行わなくてもよい。モデルの誤設定に強いことが示されている。

傾向スコア分析の問題点には、マッチング・層別解析を行う際には標準誤差が正確に計算できず、周辺期待値の推定もできない点、マッチングに使用する傾向スコアは連続変数であるため、ペアを作る際には最近傍マッチングなどの距離を使う必要があり、そこに恣意性が生まれる点、マッチングを行う際にペア化されなかったデータが分析から除外される点、共分散分析は線形を仮定しているが、傾向スコアは0から1をとるため、仮定を満たさないといった点がある(星野 2009)。

そこで、このような問題点を克服する方法として IPTW (Inverse probability of treatment weighting) 推定量が提案されている (Rubin 1985)。IPTW 推定量は傾向スコアによる重み付け推定法であり、傾向スコアの逆数による重み付け平均を示す。割り当て変数 $z=0$ のときの従属変数を y_0 、 $z=1$ のとき y_1 とすると、以下ようになる。

$$\hat{E}(y_1) = \sum_{i=1}^N \frac{z_i y_i}{e_i} \bigg/ \sum_{i=1}^N \frac{z_i}{e_i} \quad \hat{E}(y_0) = \sum_{i=1}^N \frac{(1-z_i) y_i}{1-e_i} \bigg/ \sum_{i=1}^N \frac{(1-z_i)}{1-e_i}$$

$\hat{E}(y_1)$ は、真の傾向スコアがわかっている、 y_0 と y_1 が割り当て変数 z と独立であり、かつ共変量 x が y_1 に割り当てられる確率が0から1に収まる、いわゆる「強く無視できる割り当て状況」であれば、 $\hat{E}(y_1)$ は不偏推定量になる。よって、IPTW 推定量を算出することによって、傾向スコアでは未知であった各群の周辺期待値である $\hat{E}(y_1)$ $\hat{E}(y_0)$ を計算することが可能となり、当指標をモデル推定に用いることにより、選択バイアスの影響を調整することが可能となる(星野 2009)。

本研究は父母の喫煙習慣が既往出生児数にどのような影響を与えているかどうかの検証を行うことが目的である。さらに、様々な傾向スコア分析の分析デザインの中から、マッチング法に

よる共変量調整ならびに IPTW 法によるウェイトを用いた共変量調整を用いて父母の喫煙の因果効果を推定するとともに、それぞれの分析特性についての取りまとめを行いたい。

(3) 本研究における共変量調整の手順

傾向スコア分析は、一般に、二段階の工程によって分析を行う (Guo and Fraser 2010)。第一段階は傾向スコアの算出であり、今回の処置変数である母の喫煙習慣の有無を目的変数として、共変量の係数をロジスティック回帰分析によって推定し、母の喫煙確率を算出する。ここで得られる個人の予測確率が傾向スコアとなる。第二に、算出された傾向スコアを用いて父母の喫煙習慣が第 10 回時点における既往出生児数に与える因果効果を推定する。本分析においては、(1) 傾向スコアを用いたマッチング法による共変量調整、(2) 傾向スコアの逆確率をウェイトに用いた IPTW 法による共変量調整を行った上で、既往出生児数に対する父母の喫煙効果について検証した。

第一に、マッチング法による共変量調整においては、マッチングの手法としてスタンダードな最近傍キャリパーマッチング法を用いてマッチングを行う。同手法は、処置群である観測値に対して最小の距離になるような対照群をマッチングさせる手法であり、マッチングを行った際にある特定の距離以上になるときはマッチングしないという閾値としてキャリパー値 (傾向スコアの標準偏差 $\times 0.25$) を設定させる手法である。

第二に、傾向スコアの逆確率をウェイトに用いた IPTW 法による共変量調整は、マッチングとは異なり分析ケースの除外を行うことがなく共変量の調整が可能になるという点に特色がある。ただし、用いる共変量によっては十分に構造が調整なされない可能性がある。

上記の手法を用いることによって共変量の調整を行い、既往出生児数に関するポワソン分布回帰分析を行い、父母の喫煙習慣の影響を再確認する。

分析モデルは、第一に共変量調整前の推定として、(1) 母の喫煙ダミーモデル、(2) 母の喫煙カテゴリモデル、(3) 母の喫煙と出生順位 (第 2 子、第 3 子以上) の交互作用モデルを推定する (以上について表 2)。次に傾向スコアを算出する目的で (4) 母の喫煙習慣の有無を従属変数としたロジットモデルの推定 (表 3) を行う。その後、傾向スコアを用いた共変量の調整結果を評価するために、喫煙の有無と共変量が独立であるかを確認するための χ^2 二乗検定を共変量調整前のデータ、マッチングしたバランスドデータ、IPTW による重み付けデータについて行う (表 5)。そして、(5) マッチングによるバランスドデータにおける母の喫煙ダミーモデル、(6) 同データにおける母の喫煙カテゴリモデル、(7) 同データにおける母の喫煙と出生順位 (第 2 子、第 3 子以上) の交互作用モデルを推定する。モデル 5 から 7 については、傾向スコアを共変量に投入しないモデル (a) と投入するモデル (b) を推定した (表 6)。最後に (8) IPTW 法による共変量調整を行った推定結果を示した (表 7)。

6. 父母の喫煙習慣の既往出生児数への影響 (傾向スコアによる調整前)

共変量を調整する前のデータを用いた既往出生児数の推定結果を表 2 に示した。喫煙習慣以外の共変量について、既往出生児数との関係をまとめると以下ようになる。

母の結婚年齢は結婚年齢が低いほど第 10 回時の既往出生児数が多くなる結果となった。父の結婚年齢では顕著な差は見られない。第 10 回時の結婚持続期間も持続期間が長いほど、第 1 子が婚

前妊娠である場合ほど既往出生児数が多くなる。母の学歴については高校に比べて専修・専門学校であると既往出生児数が多くなる他、差がみられなかった。父の学歴では高校に比べて大学・大学院卒であると既往出生児数は少なくなる。母の出産1年前の就業状況では、無職・学生であった場合に比べて、常勤、パート・アルバイトにおいて既往出生児数は少なくなり、常勤では出産後離職した場合が最も少ない結果となった。父母の親との同居では、父母の親と別居しているときに比べて父の親と同居している場合、既往出生児数は多くなる。子育ての不安の有無では、負の方向で有意となっており、子育てに不安がある母ほど既往出生児数が少ない。第10回時に父が不在の場合、既往出生児数は少なくなる事が確認できた。

父母の対象児出生半年後の喫煙習慣については、父の喫煙はいずれのモデルにおいても有意な結果は得られなかった。一方、母の喫煙については、喫煙の有無モデルにおいて -0.047 と負の方向で有意な結果となっており、喫煙の量-反応関係においても喫煙なしに比べて1日に6本以上喫煙している場合、既往出生児数が少なくなり、本数が増えるに従ってその負の効果が強まる事が示された。母の喫煙と対象児の出生順位との交互作用効果モデルでは、対象児が第1子であった場合に比べて第2子、第3子以上ではむしろ正の効果となる。すなわち、喫煙習慣がありながら、調査時点ですでに2子以上生んでいるケースは、選択的な可能性があるとともに、母の喫煙が対象児を産んでから開始されている可能性なども考えられ、第1子直後に喫煙習慣が確認される集団と同様の効果が見られないと解釈できる。

表 2 既往出生児数についてのポワソン分布回帰分析結果

Poisson Regression	model 1 (喫煙ダミー)		model 2 (喫煙カテゴリ)		model 3 (喫煙交互作用)	
	β	Std. Err.	β	Std. Err.	β	Std. Err.
母結婚年齢						
16-22歳	0.091 **	0.020	0.091 **	0.020	0.086 **	0.020
23-25歳	0.059 **	0.013	0.059 **	0.013	0.060 **	0.013
26-28歳(ref.)						
29-31歳	-0.072 **	0.017	-0.072 **	0.017	-0.075 **	0.017
32-34歳	-0.213 **	0.028	-0.213 **	0.028	-0.216 **	0.028
35歳以上	-0.594 **	0.048	-0.594 **	0.048	-0.596 **	0.048
父結婚年齢						
18-22歳	0.038	0.025	0.038	0.025	0.027	0.025
23-25歳	0.024	0.015	0.024	0.015	0.022	0.015
26-28歳(ref.)						
29-31歳	-0.019	0.015	-0.018	0.015	-0.019	0.015
32-34歳	-0.024	0.019	-0.024	0.019	-0.025	0.019
35歳以上	-0.089 **	0.022	-0.089 **	0.022	-0.092 **	0.022
第10回時結婚持続期間						
10-11年	-0.113 **	0.017	-0.113 **	0.017	-0.076 **	0.018
12-13年	-0.065 **	0.015	-0.065 **	0.015	-0.052 **	0.015
14-15年(ref.)						
16-18年	0.095 **	0.016	0.095 **	0.016	0.083 **	0.016
19年以上	0.187 **	0.019	0.187 **	0.019	0.164 **	0.019
第1子婚前妊娠						
	0.195 **	0.014	0.195 **	0.014	0.179 **	0.014
母の学歴						
中学校	0.005	0.035	0.007	0.035	-0.001	0.035
高校(ref.)						
専修・専門学校	0.051 **	0.015	0.050 **	0.015	0.048 **	0.015
短大・高専	0.008	0.014	0.008	0.014	0.007	0.014
大学・大学院	0.022	0.018	0.022	0.018	0.020	0.018
父の学歴						
中学校	0.032	0.024	0.033	0.024	0.026	0.024
高校(ref.)						
専修・専門学校	-0.019	0.016	-0.019	0.016	-0.019	0.016
短大・高専	0.001	0.029	0.001	0.029	-0.001	0.029
大学・大学院	-0.027 *	0.013	-0.027 *	0.013	-0.025 +	0.013
母対象児出産1年前の就業状況						
無職・学生(ref.)						
常勤(出産後離職)	-0.129 **	0.017	-0.129 **	0.017	-0.126 **	0.017
常勤(育休取得あり)	-0.058 **	0.016	-0.058 **	0.016	-0.056 **	0.016
常勤(育休取得なし)	-0.054 +	0.032	-0.054 +	0.032	-0.051	0.033
パート・アルバイト	-0.161 **	0.015	-0.161 **	0.015	-0.155 **	0.015
自営業・その他	-0.019	0.023	-0.019	0.023	-0.017	0.023
父の就業状況(対象児出生半年後)						
無職・学生	-0.022	0.046	-0.021	0.046	-0.020	0.046
常勤(ref.)						
パート・アルバイト	0.062	0.048	0.061	0.048	0.074	0.048
自営業・その他	0.074 **	0.017	0.074 **	0.017	0.068 **	0.017
不詳	0.024	0.052	0.024	0.052	0.026	0.052
父母の親との同居						
父母の親と別居(ref.)						
母の親と同居	0.002	0.023	0.002	0.023	0.005	0.023
父の親と同居	0.077 **	0.014	0.077 **	0.014	0.077 **	0.014
子育ての不安の有無(対象児出生半年後)						
子どもを持って負担に思う	-0.043 **	0.013	-0.043 **	0.013	-0.044 **	0.013
第10回時父不在						
	-0.307 **	0.024	-0.307 **	0.024	-0.304 **	0.024
父母の喫煙状況						
父喫煙(対象児出生半年後)	-0.007	0.011	-0.007	0.011	-0.007	0.011
母喫煙(対象児出生半年後)	-0.047 **	0.017			-0.220 **	0.025
母喫煙(対象児出生半年後)カテゴリ						
喫煙なし(ref.)						
1日1-5本			-0.025	0.030		
1日6-10本			-0.053 *	0.023		
1日11本以上			-0.059 *	0.028		
母喫煙(対象児出生半年後)×対象児出生順位						
第1子(ref.)						
第2子					0.181 **	0.034
第3子以上					0.592 **	0.041
定数項	0.283 **	0.022	0.284 **	0.022	0.284 **	0.022
Number of obs	30930		30930		30930	
LR chi2	1752.01 **		1752.83 **		1950.05 **	
Pseudo R2	0.0225		0.0225		0.0251	
Log likelihood	-38025.732		-38025.324		-37926.714	
df.	39		41		41	
AIC	76129.46		76132.65		75935.43	
BIC	76454.7		76474.57		76277.35	

Significance level. 0.1 +0.05 * 0.01 ** (ref.)はリファレンス・カテゴリ

7. 喫煙習慣の有無に関する傾向スコアの推定

上記の結果は、共変量の調整を行っていないデータに基づく推定結果であり、共変量と父母の喫煙との間にあるセレクションバイアスの影響を受けている可能性がある。共変量を調整するために必要な傾向スコアを算出するために、同じ共変量群を用いて母の喫煙習慣の有無を従属変数としたロジスティック回帰モデルで推定した(表3)。母の結婚年齢は、26-28歳に比べ、25歳以下で喫煙確率が有意に高くなり(オッズ比はおよそ1.2~1.3倍)、父の結婚年齢でも同様の関係が得られた。結婚持続期間でも持続期間が低い場合で母の喫煙確率が高まり、第1子が婚前妊娠であった場合もそうでない場合に比べてオッズ比1.458倍で喫煙確率が高くなっている。母の学歴では高卒に比べて中学校卒で高い喫煙確率がみられ、学歴が高くなるに従って喫煙確率は低下する。父の学歴についても同様の結果が得られた。母の出産1年前の就業状況では、無職・学生に比べて、常勤(育休取得あり)で喫煙確率は低下するのに対し、常勤(育休取得なし)、パート・アルバイト、自営業・その他では喫煙確率が高い結果となっている。父の就業状況では、常勤に比べて自営業・その他での母の喫煙確率が高い結果となっている。父母の親との同居では父母の親と別居している場合に比べて、父の親と同居していると喫煙確率は低くなる結果が得られた(オッズ比は0.791)。子育ての不安の有無については、負担に思うほど喫煙確率が高まり、第10回時に父が不在である場合はそうでない場合に比べて、1.533倍の喫煙確率となっている。父の喫煙が最も大きな影響を持ち、オッズ比にして6.609倍の母の喫煙確率が示された。

母の喫煙習慣を従属変数として推定されたロジスティック回帰モデルによる個人の予測値が傾向スコアである。傾向スコアの分布を母の喫煙習慣の有無別に確認してみると(図6上)、喫煙群は傾向スコアが0.2前後をピークとしたやや右に偏った分布をしているのに対して、非喫煙群の傾向スコアは0.0~0.1にかけて急激に減少する分布を示し、0.2あたりまで一定となり、その後減少していく分布を示している。このように、母の喫煙の有無によって共変量の分布は大きく異なることを視覚的に把握することができる。

最近傍キャリパーマッチング法によってマッチングを行った結果、7,364ケースとなった(母喫煙群3,682、母非喫煙群3,682)。元々の分析ケースは30,930であったが、処置群と対象群の共変量がほぼ同じケースを得るために、およそ2万2千ケースを分析から除外したことになる。図6下は、マッチング後の喫煙の有無別の傾向スコアの分布を示している。母が喫煙している群の分布に合わせたマッチングが行われていることがわかる。0.0~0.1に集中して分布していた非喫煙群のサンプルが分析から大幅に除外されている結果となっている。

図7は、IPTW法を用いて重み付けしたあとの、喫煙群、非喫煙群の傾向スコアの分布である。IPTW法ではサンプリング・ウェイトという方法を用いるため、サンプルの多い非喫煙群の分布に従うようにウェイトがなされる。ウェイト法を用いることによって分析ケースを一切除外せずに共変量の調整ができている。

表3 母の喫煙習慣の有無についてのロジスティック回帰分析（傾向スコアの算出）

Logistic Regression (model 4)	β	Std. Err.	Odds Ratio
母結婚年齢			
16-22歳	0.258 **	0.067	1.294
23-25歳	0.185 **	0.051	1.204
26-28歳(ref.)			
29-31歳	0.034	0.066	1.034
32-34歳	0.052	0.101	1.053
35歳以上	0.168	0.136	1.183
父結婚年齢			
18-22歳	0.342 **	0.076	1.408
23-25歳	0.134 *	0.054	1.143
26-28歳(ref.)			
29-31歳	-0.087	0.058	0.917
32-34歳	-0.156 *	0.076	0.856
35歳以上	-0.121	0.082	0.886
第10回時結婚持続期間			
10-11年	0.164 **	0.061	1.178
12-13年	0.142 *	0.055	1.153
14-15年(ref.)			
16-18年	-0.115 +	0.063	0.892
19年以上	-0.275 **	0.082	0.759
第1子婚前妊娠			
	0.377 **	0.045	1.458
母の学歴			
中学校	1.259 **	0.088	3.523
高校(ref.)			
専修・専門学校	-0.149 **	0.049	0.861
短大・高専	-0.757 **	0.056	0.469
大学・大学院	-1.049 **	0.089	0.350
父の学歴			
中学校	0.549 **	0.064	1.732
高校(ref.)			
専修・専門学校	-0.061	0.054	0.941
短大・高専	-0.344 **	0.123	0.709
大学・大学院	-0.429 **	0.054	0.651
母対象児出産1年前の就業状況			
無職・学生(ref.)			
常勤(出産後離職)	-0.023	0.058	0.978
常勤(育休取得あり)	-0.144 *	0.069	0.866
常勤(育休取得なし)	0.199 +	0.110	1.221
パート・アルバイト	0.148 **	0.053	1.160
自営業・その他	0.195 *	0.085	1.216
父の就業状況(対象児出生半年後)			
無職・学生	0.101	0.143	1.106
常勤(ref.)			
パート・アルバイト	0.052	0.156	1.054
自営業・その他	0.218 **	0.059	1.244
不詳	0.248	0.178	1.281
父母の親との同居			
父母の親と別居(ref.)			
母の親と同居	-0.045	0.078	0.956
父の親と同居	-0.235 **	0.053	0.791
子育ての不安の有無(対象児出生半年後)			
子どもを持って負担に思う	0.147 **	0.048	1.158
第10回時父不在	0.427 **	0.062	1.533
父母の喫煙状況			
父喫煙(対象児出生半年後)	1.888 **	0.063	6.609
定数項	-3.535 **	0.097	
Number of obs	30930		
LR chi2	4344.06 **		
Pseudo R2	0.1879		
Log likelihood	-9389.193		
df	38		
AIC	18854.39		
BIC	19171.29		

Significance level. 0.1 +0.05 * 0.01 ** (ref.)はリファレンス・カテゴリ

図6 母の禁煙習慣の有無別にみた傾向スコアのヒストグラム
(上：マッチング前，下：マッチング後)

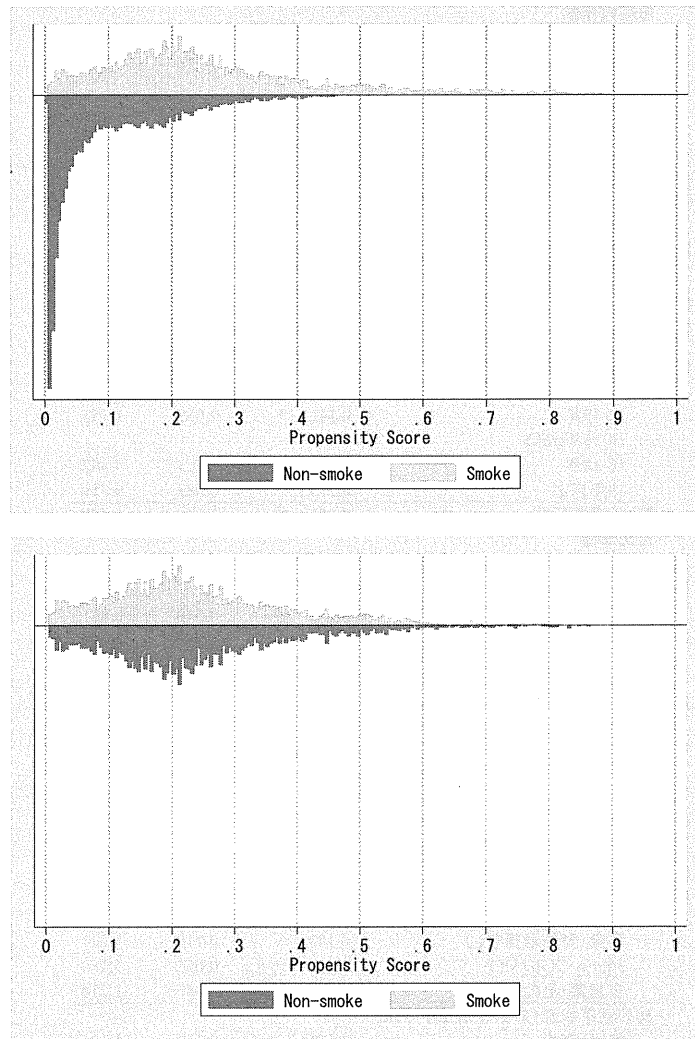


図7 母の禁煙習慣の有無別にみた傾向スコアのヒストグラム (IPTW法による調整後)

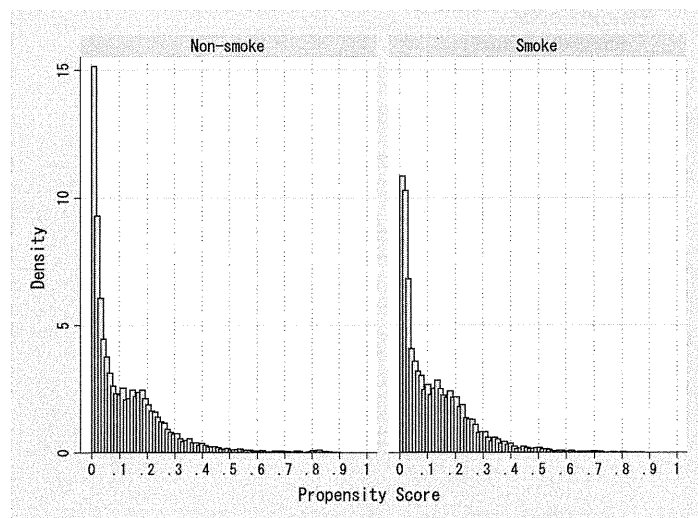


表4 バランスデータの記述統計

	総数(N=7,364)		母喫煙あり(N=3,682)		母喫煙なし(N=3,682)	
	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.
従属変数						
第10回時子ども数(-1)	1.248	0.788	1.223	0.788	1.273	0.787
独立変数						
母結婚年齢						
16-22歳	0.226	0.418	0.226	0.418	0.225	0.418
23-25歳	0.337	0.473	0.337	0.473	0.337	0.473
26-28歳	0.254	0.435	0.255	0.436	0.252	0.434
29-31歳	0.116	0.320	0.116	0.320	0.116	0.320
32-34歳	0.044	0.204	0.042	0.201	0.045	0.208
35歳以上	0.024	0.152	0.023	0.151	0.024	0.154
父結婚年齢						
18-22歳	0.139	0.346	0.142	0.349	0.137	0.344
23-25歳	0.260	0.439	0.259	0.438	0.261	0.439
26-28歳	0.276	0.447	0.276	0.447	0.276	0.447
29-31歳	0.164	0.371	0.163	0.369	0.166	0.372
32-34歳	0.079	0.270	0.080	0.272	0.078	0.268
35歳以上	0.081	0.273	0.080	0.271	0.082	0.274
第10回時結婚持続期間						
10-11年	0.303	0.460	0.299	0.458	0.307	0.461
12-13年	0.279	0.448	0.280	0.449	0.277	0.448
14-15年	0.207	0.405	0.203	0.402	0.211	0.408
16-18年	0.142	0.350	0.147	0.354	0.138	0.345
19年以上	0.069	0.253	0.071	0.257	0.066	0.249
第1子婚前妊娠	0.342	0.474	0.341	0.474	0.342	0.475
母の学歴						
中学校	0.066	0.249	0.067	0.250	0.066	0.248
高校	0.537	0.499	0.536	0.499	0.538	0.499
専修・専門学校	0.219	0.414	0.218	0.413	0.220	0.414
短大・高専	0.134	0.341	0.134	0.341	0.133	0.340
大学・大学院	0.044	0.204	0.045	0.207	0.042	0.201
父の学歴						
中学校	0.137	0.344	0.138	0.345	0.136	0.343
高校	0.514	0.500	0.507	0.500	0.522	0.500
専修・専門学校	0.154	0.361	0.160	0.366	0.148	0.355
短大・高専	0.021	0.144	0.023	0.148	0.020	0.138
大学・大学院	0.174	0.379	0.173	0.379	0.174	0.379
母対象児出産1年前の就業状況						
無職・学生	0.425	0.494	0.424	0.494	0.427	0.495
常勤(出産後離職)	0.189	0.392	0.188	0.391	0.190	0.393
常勤(育休取得あり)	0.089	0.285	0.089	0.285	0.089	0.285
常勤(育休取得なし)	0.031	0.174	0.033	0.178	0.030	0.170
パート・アルバイト	0.200	0.400	0.200	0.400	0.200	0.400
自営業・その他	0.065	0.247	0.066	0.248	0.064	0.245
父の就業状況(対象児出生半年後)						
無職・学生	0.019	0.136	0.020	0.138	0.018	0.134
常勤	0.805	0.397	0.802	0.398	0.807	0.395
パート・アルバイト	0.016	0.127	0.016	0.126	0.017	0.128
自営業・その他	0.149	0.356	0.150	0.357	0.148	0.355
不詳	0.011	0.104	0.012	0.109	0.010	0.100
父母の親との同居						
父母の親と別居	0.783	0.412	0.776	0.417	0.789	0.408
母の親と同居	0.066	0.249	0.068	0.253	0.064	0.244
父の親と同居	0.151	0.358	0.155	0.362	0.147	0.354
子育ての不安の有無(対象児出生半年後)						
子どもを持って負担に思う	0.817	0.387	0.814	0.389	0.820	0.384
第10回時父不在	0.122	0.328	0.122	0.327	0.123	0.329
父母の喫煙状況						
父喫煙(対象児出生半年後)	0.920	0.271	0.919	0.274	0.922	0.268
母喫煙(対象児出生半年後)	0.500	0.500				
母喫煙(対象児出生半年後)カテゴリ						
喫煙なし	0.500	0.500				
1日1-5本	0.127	0.333	0.253	0.435		
1日6-10本	0.227	0.419	0.454	0.498		
1日11本以上	0.146	0.354	0.293	0.455		
母喫煙(対象児出生半年後)×対象児出生順位						
第1子	0.259	0.438	0.518	0.500		
第2子	0.183	0.387	0.366	0.482		
第3子以上	0.058	0.234	0.117	0.321		

表5 母の喫煙の有無についてマッチング前後ならびに IPTW 法における共変量の調整結果

母の喫煙	マッチング前		マッチング後		IPTWサンプルウエイト	
	Pearson χ^2 値	Pr	Pearson χ^2 値	Pr	Wald χ^2 値	Pr
母結婚年齢						
16-22歳	708.008	0.000 **	0.007	0.933	1.180	0.276
23-25歳	18.855	0.000 **	0.002	0.961	1.370	0.242
26-28歳	181.124	0.000 **	0.072	0.789	1.730	0.188
29-31歳	66.747	0.000 **	0.000	1.000	0.570	0.449
32-34歳	13.476	0.000 **	0.468	0.494	0.190	0.667
35歳以上	1.832	0.176	0.053	0.818	2.560	0.110
父結婚年齢						
18-22歳	705.332	0.000 **	0.409	0.523	0.620	0.433
23-25歳	131.888	0.000 **	0.025	0.873	0.070	0.790
26-28歳	41.060	0.000 **	0.001	0.979	0.060	0.807
29-31歳	97.143	0.000 **	0.167	0.683	1.250	0.264
32-34歳	60.741	0.000 **	0.151	0.698	0.090	0.759
35歳以上	17.005	0.000 **	0.117	0.732	0.980	0.322
第10回時結婚持続期間						
10-11年	141.546	0.000 **	0.618	0.432	0.010	0.938
12-13年	0.644	0.422	0.082	0.775	0.010	0.933
14-15年	17.625	0.000 **	0.795	0.373	0.160	0.694
16-18年	42.913	0.000 **	1.211	0.271	0.160	0.691
19年以上	13.822	0.000 **	0.688	0.407	0.040	0.847
第1子婚前妊娠	745.310	0.000 **	0.010	0.922	6.190	0.013 *
母の学歴						
中学校	1000.000	0.000 **	0.055	0.815	0.130	0.714
高校	434.121	0.000 **	0.044	0.833	1.770	0.183
専修・専門学校	7.721	0.005 **	0.064	0.800	3.560	0.059 +
短大・高専	370.724	0.000 **	0.019	0.891	3.850	0.050 *
大学・大学院	429.706	0.000 **	0.264	0.607	0.440	0.508
父の学歴						
中学校	947.132	0.000 **	0.041	0.839	0.410	0.524
高校	279.243	0.000 **	1.766	0.184	0.170	0.684
専修・専門学校	10.894	0.001 **	1.929	0.165	2.590	0.108
短大・高専	17.858	0.000 **	0.797	0.372	0.410	0.524
大学・大学院	974.720	0.000 **	0.009	0.926	1.620	0.203
母対象児出産1年前の就業状況						
無職・学生	12.640	0.000 **	0.067	0.795	0.110	0.736
常勤(出産後離職)	5.168	0.023 *	0.057	0.812	0.120	0.726
常勤(育休取得あり)	79.874	0.000 **	0.002	0.967	0.430	0.511
常勤(育休取得なし)	6.818	0.009 **	0.646	0.421	0.410	0.520
パート・アルバイト	58.668	0.000 **	0.001	0.977	1.550	0.213
自営業・その他	9.284	0.002 **	0.109	0.741	0.070	0.794
父の就業状況(対象児出生半年後)						
無職・学生	11.845	0.001 **	0.183	0.669	0.750	0.387
常勤	105.916	0.000 **	0.250	0.617	0.150	0.700
パート・アルバイト	14.439	0.000 **	0.034	0.854	0.350	0.555
自営業・その他	69.020	0.000 **	0.052	0.819	0.050	0.829
不詳	5.129	0.024 *	0.612	0.434	0.010	0.938
父母の親との同居						
父母の親と同居	8.856	0.003 **	1.765	0.184	0.070	0.784
母の親と同居	22.533	0.000 **	0.636	0.425	0.050	0.829
父の親と同居	0.137	0.712	0.953	0.329	0.040	0.847
子育ての不安の有無(対象児出生半年後)						
子どもを持って負担に思う	2.835	0.092 +	0.523	0.470	0.190	0.666
第10回時父不在	326.860	0.000 **	0.032	0.859	0.190	0.665
父喫煙(対象児出生半年後)	1900.000	0.000 **	0.313	0.576	1.700	0.193

Significance level. 0.1 +0.05 * 0.01 **

表5は、母の喫煙習慣の有無と共変量に統計的に有意な関係が認められるか（独立であるか）を検証した結果である。マッチング前の未調整のデータについて χ^2 二乗検定を行ったところ、ほとんどの共変量が喫煙変数と独立ではない、すなわち有意な関係があることを示している。しかし傾向スコアによるマッチング後のデータについては、全ての共変量について喫煙習慣の有無と独立であるとの帰無仮説が棄却されず、共変量の調整がある程度行われたことが確認できた。これにより、準実験的状況下で喫煙習慣の効果を推定することができることになる。IPTW法による重み付け後の標本については、第1子婚前妊娠、母の学歴で喫煙の有無との独立性が棄却され、完全には調整しきれていないが、重み付け前のデータで見られた多くの変数に関する有意な関係は概ね調整されている。

8. 父母の喫煙習慣の既往出生児数への影響（傾向スコアによる調整後）

マッチングしたバランスドデータを用いて既往出生児数に対してポワソン分布回帰分析を行った結果を表6に示した。父の喫煙習慣の有無は、調整前のデータを用いた結果と同様、統計的に有意な結果は得られなかった。一方、母の喫煙習慣については統計的に有意に負の因果効果があることがわかった。すなわち、母の喫煙と既往出生児数の関係は、喫煙を促す他の属性に起因するバイアスの結果ではなく、実質的に負の関係がある可能性が高められたと言えよう。なお傾向スコアそのもので統制したモデルも推定したが、係数はいずれも有意ではなかった。

次に IPTW 法によって重み付けしたデータを用いたポアソン分布回帰分析の結果を見てみよう（表7）。

母の喫煙習慣の負の効果は、共変量調整前やバランスドデータにおける検証結果と同様の傾向が得られたが、係数の大きさがやや大きめになる結果となった（母の喫煙の有無モデルにおける母の喫煙の係数は-0.057）。

マッチング法とウェイト法では、共変量の調整を行うという目的は一にしながらも、対象となる分析データの範囲が異なる。マッチング法では母の喫煙群の傾向スコアの分布に合わせたデータ構成となり、ウェイト法では非喫煙群の分布に合うようウェイトが掛けられている。共変量の調整結果から評価すると、マッチング法では全ての共変量の調整が行われていることから、推定値のバイアスはより小さいと判断できるかもしれない。

表6 マッチング法によりバランスしたデータによる
既往出生児数についてのポワソン分布回帰分析

Poisson Regression using Balanced (Matching) Data	model_5a		model_5b		model_6a		model_6b		model_7a		model_7b	
	β	Std. Err.	β	Std. Err.	β	Std. Err.	β	Std. Err.	β	Std. Err.	β	Std. Err.
母結婚年齢												
16-22歳	0.138 **	0.036	0.129 **	0.038	0.137 **	0.036	0.129 **	0.038	0.132 **	0.036	0.119 **	0.038
23-25歳	0.077 **	0.029	0.072 *	0.030	0.077 **	0.029	0.072 *	0.030	0.078 **	0.029	0.069 *	0.030
26-28歳(ref.)												
29-31歳	-0.049	0.041	-0.050	0.041	-0.048	0.041	-0.049	0.041	-0.058	0.041	-0.059	0.041
32-34歳	-0.187 **	0.065	-0.188 **	0.065	-0.185 **	0.065	-0.187 **	0.065	-0.194 **	0.065	-0.197 **	0.065
35歳以上	-0.587 **	0.106	-0.592 **	0.106	-0.587 **	0.106	-0.592 **	0.106	-0.583 **	0.106	-0.591 **	0.106
父結婚年齢												
18-22歳	0.016	0.038	0.003	0.044	0.016	0.038	0.003	0.044	-0.001	0.038	-0.022	0.044
23-25歳	0.006	0.029	0.002	0.030	0.006	0.029	0.002	0.030	-0.002	0.029	-0.008	0.030
26-28歳(ref.)												
29-31歳	-0.009	0.034	-0.007	0.034	-0.008	0.034	-0.006	0.034	-0.018	0.034	-0.014	0.034
32-34歳	-0.025	0.045	-0.020	0.046	-0.025	0.045	-0.020	0.046	-0.033	0.045	-0.026	0.046
35歳以上	-0.133 **	0.051	-0.130 *	0.051	-0.131 *	0.051	-0.128 *	0.051	-0.143 **	0.051	-0.137 **	0.051
第10回結婚維持期間												
10-11年	-0.203 **	0.034	-0.208 **	0.036	-0.204 **	0.034	-0.209 **	0.036	-0.081 *	0.037	-0.089 *	0.038
12-13年	-0.051 +	0.030	-0.055 +	0.031	-0.052 +	0.030	-0.056 +	0.031	0.009	0.031	0.002	0.032
14-15年(ref.)												
16-18年	0.089 **	0.034	0.092 **	0.035	0.089 **	0.034	0.092 **	0.035	0.018	0.035	0.022	0.035
19年以上	0.213 **	0.042	0.221 **	0.044	0.215 **	0.042	0.222 **	0.044	0.080 +	0.044	0.092 *	0.045
第1子婚前妊娠												
0.212 **	0.024	0.199 **	0.031	0.212 **	0.024	0.199 **	0.031	0.152 **	0.024	0.133 **	0.032	
母の学歴												
中学校	-0.026	0.043	-0.076	0.092	-0.023	0.043	-0.073	0.092	-0.021	0.043	-0.099	0.092
高校(ref.)												
専修・専門学校	0.036	0.027	0.041	0.028	0.035	0.027	0.040	0.028	0.026	0.027	0.034	0.028
短大・高専	0.004	0.033	0.024	0.046	0.002	0.033	0.022	0.046	0.010	0.033	0.041	0.046
大学・大学院	-0.032	0.058	-0.011	0.067	-0.036	0.058	-0.014	0.067	-0.022	0.058	0.011	0.067
父の学歴												
中学校	0.027	0.032	0.005	0.048	0.028	0.032	0.006	0.048	0.022	0.032	-0.013	0.048
高校(ref.)												
専修・専門学校	-0.018	0.031	-0.016	0.031	-0.018	0.031	-0.016	0.031	-0.014	0.031	-0.011	0.031
短大・高専	-0.012	0.074	-0.002	0.075	-0.011	0.074	-0.002	0.076	-0.028	0.074	-0.014	0.076
大学・大学院	-0.021	0.032	-0.012	0.035	-0.022	0.032	-0.013	0.035	-0.015	0.032	-0.001	0.035
母対象児出生1年前の就業状況												
無職・学生(ref.)												
常勤(出産後離職)	-0.128 **	0.033	-0.127 **	0.034	-0.128 **	0.033	-0.127 **	0.034	-0.096 **	0.034	-0.094 **	0.034
常勤(育児取得あり)	-0.076 +	0.040	-0.073 +	0.041	-0.077 +	0.040	-0.073 +	0.041	-0.054	0.040	-0.048	0.041
常勤(育児取得なし)	-0.060	0.062	-0.066	0.063	-0.061	0.062	-0.067	0.063	-0.050	0.062	-0.059	0.063
パート・アルバイト	-0.137 **	0.029	-0.142 **	0.030	-0.138 **	0.029	-0.142 **	0.030	-0.108 **	0.030	-0.115 **	0.030
自営業・その他	-0.042	0.045	-0.047	0.046	-0.043	0.045	-0.049	0.046	-0.021	0.045	-0.029	0.046
父の就業状況(対象児出生半年後)												
無職・学生	-0.014	0.079	-0.017	0.079	-0.012	0.079	-0.015	0.079	-0.008	0.079	-0.012	0.079
常勤(ref.)												
パート・アルバイト	0.169 *	0.079	0.167 *	0.079	0.168 *	0.079	0.166 *	0.079	0.186 *	0.079	0.184 *	0.079
自営業・その他	0.064 *	0.031	0.058 +	0.033	0.066 *	0.031	0.059 +	0.033	0.045	0.031	0.035	0.033
不詳	-0.002	0.103	-0.010	0.104	-0.002	0.103	-0.010	0.104	-0.012	0.103	-0.025	0.104
父母の親との同居												
父母の親と同居(ref.)												
母の親と同居	-0.006	0.043	-0.004	0.043	-0.007	0.043	-0.005	0.043	-0.004	0.043	-0.002	0.043
父の親と同居	0.059 *	0.029	0.066 *	0.031	0.058 *	0.029	0.065 *	0.031	0.049 +	0.029	0.060 +	0.031
子育ての不安の有無(対象児出生半年後)												
子どもを持って負担に思う	-0.051 +	0.026	-0.055 *	0.028	-0.051 +	0.027	-0.056 *	0.028	-0.058 *	0.027	-0.065 *	0.028
第10回時父不在	-0.278 **	0.036	-0.294 **	0.044	-0.278 **	0.036	-0.293 **	0.044	-0.274 **	0.036	-0.298 **	0.044
父母の喫煙状況												
父喫煙(対象児出生半年後)	-0.002	0.039	-0.036	0.068	0.000	0.039	-0.035	0.068	-0.002	0.039	-0.056	0.068
母喫煙(対象児出生半年後)	-0.045 *	0.021	-0.045 *	0.021					-0.236 **	0.030	-0.235 **	0.030
母喫煙(対象児出生半年後)カテゴリ												
喫煙なし(ref.)												
1日1-5本					-0.015	0.033	-0.014	0.033				
1日6-10本					-0.052 +	0.027	-0.051 +	0.027				
1日11本以上					-0.063 *	0.032	-0.062 *	0.032				
母喫煙(対象児出生半年後)×対象児出生順位												
第1子(ref.)									0.205 **	0.038	0.205 **	0.038
第2子									0.667 **	0.048	0.668 **	0.048
第3子以上												
傾向スコア												
傾向スコア			0.193	0.312			0.194	0.312			0.299	0.313
定数項	0.288 **	0.058	0.291 **	0.058	0.287 **	0.058	0.290 **	0.058	0.288 **	0.058	0.292 **	0.058
Number of obs	7364		7364		7364		7364		7364		7364	
LR chi2	546.97 **		547.35 **		548.47 **		548.85 **		734.89 **		735.8 **	
Pseudo R2	0.0293		0.0293		0.0293		0.0294		0.0393		0.0394	
Log likelihood	-9074.253		-9074.063		-9073.502		-9073.309		-8980.291		-8979.834	
df.	39		40		41		42		41		42	
AIC	18226.51		18228.13		18229		18230.62		18042.58		18043.67	
BIC	18495.78		18504.3		18512.08		18520.6		18325.66		18333.65	

Significance level. 0.1 +0.05 * 0.01 ** (ref.)はリファレンス・カテゴリ