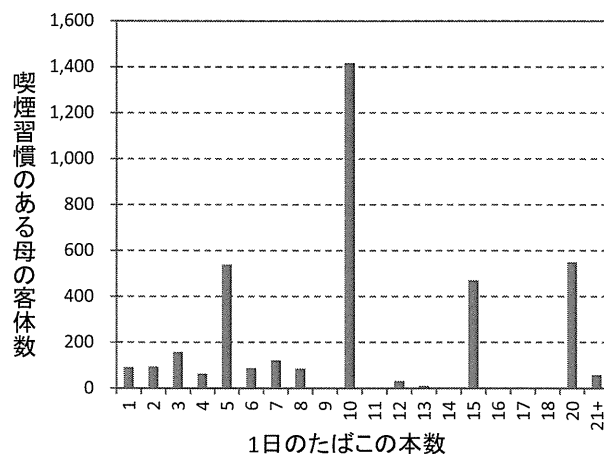


図2 21世紀縦断調査における1日のたばこ本数別にみた母の標本数（第1回調査）



データ：「21世紀出生児縦断調査」

注：喫煙習慣のある母 3,805 件について。その他、「たばこを吸っていない」母の標本数は 29,570 件となる。

IV 従属変数とモデル、共変量

(1) 出生ハザードに関する CLL モデル

出生力の規定要因を検証するモデルは従属変数となる出生力指標によって様々なものが考えられる。岩澤・鎌田(2014)では、本研究と同じ出生児縦断調査を用い、①第6回調査時点での既往出生児数を説明するポアソン回帰モデル、②第6回調査時点までの追加出生の有無を説明するロジスティック回帰モデル、③前子出生からの次子出生待ち時間を説明するコックス回帰モデルを推定し、結果の比較を行った。①と②の方法は、第6回調査の回答が得られているケースに限定され、脱落ケースの情報が含まれない欠点がある。子どもを持たない人ほど脱落しやすい傾向があり、出生力が高めに推定される。③のコックス回帰は、脱落ケースもセンサリングとしてリスク人口に含めた上でハザードを推定できるという意味で脱落による偏りを軽減することができる。ただし、一般的なコックス回帰では、時間で変化する共変量の効果をモデル化することができない。また共変量のハザード比は時間によって変わらない比例ハザード性を仮定しており、比例ハザード性が仮定できない状況には摘要できない。こうした欠点を解消する方法の一つに離散時間データ（あるいは期間打ち切り interval-censored データ）を用いたハザードモデルがある。

ここでは、Complementary Log-Log (CLL) モデルを推定する。事象発生までの待ち時間を問題とし、共変量によって規定される時間 t のハザード関数 $\lambda(t, \mathbf{x})$ を下記のようにモデル化する。

$$\lambda(t, \mathbf{x}_i) = \lambda_0(t) \exp(\mathbf{x}_i' \boldsymbol{\beta})$$

共変量 \mathbf{x}_i をもつ人のハザードは、ベースラインハザードを $\exp(\mathbf{x}_i' \boldsymbol{\beta})$ 倍したものにな

る。ちなみにこれは連続時間事象を扱うコックス回帰モデルで仮定されたハザードの表現と同じである。この式を変形すると、

$$\begin{aligned}\log[\lambda(t, \mathbf{x}_i)] &= \log[\lambda_0(t)] + \mathbf{x}'_i \boldsymbol{\beta} \\ \log[\lambda(t, \mathbf{x}_i)] &= \alpha_t + \mathbf{x}'_i \boldsymbol{\beta}\end{aligned}$$

ここで、観察間隔である 1 期間 (t から $t+1$, 第 τ 期) における事象発生確率を P_τ 、生存確率を S_τ とすると、

$$S_\tau = 1 - P_\tau$$

となり、ハザードと生存関数の関係から、以下のような関係式を導くことができる。

$$\begin{aligned}S_\tau &= \exp\left[-\int_t^{t+1} \lambda(a) da\right] \\ \log[S_\tau] &= -\left[\int_t^{t+1} \lambda(a) da\right] \\ \log(-\log[S_\tau]) &= \log\left[\int_t^{t+1} \lambda(a) da\right] \\ \log(-\log[1 - P_\tau]) &= \log\left[\int_t^{t+1} \lambda(a) da\right]\end{aligned}$$

共変量で説明するモデルを当てはめると、

$$\begin{aligned}\log(-\log[1 - P_\tau(\mathbf{x})]) &= \log\left[\int_t^{t+1} \lambda(a, \mathbf{x}_i) da\right] \\ &= \log\left[\int_t^{t+1} \lambda_0(a) da\right] + \mathbf{x}'_i \boldsymbol{\beta}\end{aligned}$$

観察期間内のベースラインハザードの累積値の対数を定数とすると、

$$\log(-\log[1 - P_\tau(\mathbf{x}_i)]) = \alpha_\tau + \mathbf{x}'_i \boldsymbol{\beta}$$

と表すことができる。

また、全期にわたる共変量 \mathbf{x}_i の生存関数は、

$$\begin{aligned}
S_{\tau}(\mathbf{x}_i) &= \exp\left\{-\sum_{\alpha=0}^{\tau} \exp(\alpha_{\alpha} + \mathbf{x}'_i\boldsymbol{\beta})\right\} \\
&= \exp\left\{-\sum_{\alpha=0}^{\tau} [\exp(\alpha_{\alpha}) \cdot \exp(\mathbf{x}'_i\boldsymbol{\beta})]\right\} \\
&= \exp\left\{-\exp(\mathbf{x}'_i\boldsymbol{\beta}) \cdot \sum_{\alpha=0}^{\tau} [\exp(\alpha_{\alpha})]\right\} \\
&= \left[\exp\left\{-\sum_{\alpha=0}^{\tau} [\exp(\alpha_{\alpha})]\right\}\right]^{\exp(\mathbf{x}'_i\boldsymbol{\beta})}
\end{aligned}$$

ここで、 $S_{\tau}(0)$ をベースラインハザードに基づく生存関数とすると、

$$S_{\tau}(0) = \exp\left\{-\sum_{\alpha=0}^{\tau} [\exp(\alpha_{\alpha})]\right\}$$

と表せ、生存関数 $S_{\tau}(\mathbf{x}_i)$ とベースラインの生存関数は以下のような関係となる。

$$S_{\tau}(\mathbf{x}_i) = S_{\tau}(0)^{\exp(\mathbf{x}'_i\boldsymbol{\beta})}$$

本研究では、次子出生年月を事象発生とし、リスクの始まる前子出生から9ヶ月以降について、3ヶ月を観察間隔としたパーソン3ヶ月データに基づき、CLLモデルによって共変量の効果を推定する。

(4) 共変量と脱落

共変量については第1回および第2回調査から得られる情報を用いた。母結婚年齢、父結婚年齢、第6回時結婚持続期間、第1子婚前妊娠ダミー、母の学歴、父の学歴、対象児出生1年前の母の就業、対象児出生半年後の父の就業、父母の親との同別居、子育ての不安の有無である。これらの時間固定変数に加え、調査回ごとに情報が得られる子の父親の同別居といった時間変化変数を加えたモデルも推定する。

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(18~22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、次子出生確率は下がることが予想される。結婚持続期間は第1回時点での結婚持続期間を示し、1年以下、2-3年、4-5年、6-8年、9年以上とし、4-5年をリファレンス・カテゴリとしている。

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ので統制する。

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。

これら時間固定変数の他、各調査回での子の父親との同別居の影響も推定する。何らかの事情で子の父親（母の夫）が同居していない場合は、出生確率は大きく下がると予想される。なお、パーソン・3ヶ月データを準備する際、子の父親との同別居状況は、調査時点を挟んで半年前および半年後にその情報を反映するようにした。

表1、表2には、共変量の分布を第1回調査（学歴については第2回調査）に基づいて示した。表1は、第2子の出生のリスクのある2001年に第1子を生んだ父母の分布であり、表2は、第3子の出生のリスクのある2001年に第2子を生んだ父母の分布である。

表1 記述統計（第1子出生父母）

共変量	総数(N=20,077)		母喫煙あり(N=3,082)		母喫煙なし(N=16,995)	
	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.
母結婚年齢						
16-22歳	0.122	0.328	0.252	0.434	0.099	0.298
23-25歳	0.275	0.446	0.305	0.460	0.269	0.444
26-28歳	0.335	0.472	0.251	0.434	0.350	0.477
29-31歳	0.168	0.374	0.117	0.322	0.178	0.382
32-34歳	0.065	0.246	0.047	0.211	0.068	0.252
35歳以上	0.035	0.183	0.027	0.163	0.036	0.186
父結婚年齢						
18-22歳	0.072	0.259	0.170	0.376	0.055	0.227
23-25歳	0.182	0.386	0.239	0.427	0.171	0.377
26-28歳	0.306	0.461	0.264	0.441	0.314	0.464
29-31歳	0.214	0.410	0.163	0.369	0.224	0.417
32-34歳	0.113	0.317	0.078	0.268	0.120	0.325
35歳以上	0.112	0.316	0.086	0.280	0.117	0.321
第1回時結婚持続期間						
1年以下	0.475	0.499	0.619	0.486	0.448	0.497
2-3年	0.351	0.477	0.266	0.442	0.367	0.482
4-5年	0.106	0.308	0.068	0.251	0.113	0.316
6-8年	0.052	0.222	0.036	0.187	0.055	0.228
9年以上	0.016	0.127	0.011	0.103	0.017	0.130
第1子婚前妊娠						
	0.218	0.413	0.382	0.486	0.188	0.391
母の学歴						
中学校	0.034	0.181	0.118	0.323	0.019	0.136
高校	0.362	0.480	0.516	0.500	0.334	0.472
専修・専門学校	0.197	0.397	0.200	0.400	0.196	0.397
短大・高専	0.250	0.433	0.128	0.334	0.273	0.445
大学・大学院	0.157	0.364	0.039	0.193	0.179	0.383
父の学歴						
中学校	0.063	0.242	0.172	0.377	0.043	0.203
高校	0.386	0.487	0.506	0.500	0.364	0.481
専修・専門学校	0.148	0.355	0.157	0.364	0.146	0.353
短大・高専	0.031	0.172	0.018	0.134	0.033	0.179
大学・大学院	0.373	0.484	0.148	0.355	0.414	0.492
母対象児出産1年前の就業状況						
無職・学生	0.253	0.435	0.247	0.431	0.254	0.435
常勤（出産後離職）	0.308	0.462	0.317	0.465	0.306	0.461
常勤（育休取得あり）	0.150	0.357	0.099	0.298	0.159	0.366
常勤（育休取得なし）	0.026	0.160	0.031	0.173	0.025	0.157
パート・アルバイト	0.225	0.417	0.266	0.442	0.217	0.412
自営業・その他	0.038	0.192	0.042	0.200	0.038	0.190
父の就業状況（対象児出生半年後）						
無職・学生	0.016	0.125	0.025	0.156	0.014	0.118
常勤	0.860	0.347	0.807	0.395	0.869	0.337
パート・アルバイト	0.016	0.124	0.028	0.166	0.013	0.115
自営業・その他	0.100	0.299	0.126	0.332	0.095	0.293
不詳	0.009	0.095	0.013	0.115	0.008	0.091
父母の親との同居（対象児出生半年後）						
父母の親と別居	0.814	0.389	0.774	0.418	0.821	0.383
母の親と同居	0.049	0.216	0.063	0.242	0.046	0.211
父の親と同居	0.137	0.344	0.163	0.370	0.132	0.339
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	0.799	0.401	0.807	0.395	0.797	0.402
父母の喫煙状況						
父喫煙（対象児出生半年後）有無	0.623	0.485	0.934	0.248	0.566	0.496
母喫煙（対象児出生半年後）有無	0.154	0.360	1.000	0.000	0.000	0.000
母喫煙本数（対象児出生半年後）						
喫煙なし	0.846	0.360	0.000	0.000	1.000	0.000
1日1-5本	0.040	0.195	0.259	0.438	0.000	0.000
1日6-10本	0.068	0.252	0.443	0.497	0.000	0.000
1日11本以上	0.046	0.209	0.298	0.457	0.000	0.000
父親と別居（対象児出生半年後）						
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
父親と同居（第6回調査）						
	0.730	0.444	0.566	0.496	0.760	0.427
父親と別居（第6回調査）						
	0.043	0.203	0.073	0.260	0.038	0.191
第7回調査までに脱落						
	0.227	0.419	0.362	0.481	0.202	0.402

父母の学歴は第2回データより

表 2 記述統計 (第2子出生父母)

共変量	総数(N=14,241)		母喫煙あり(N=2,148)		母喫煙なし(N=12,093)	
	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.
母結婚年齢						
16-22歳	0.136	0.343	0.293	0.455	0.109	0.311
23-25歳	0.330	0.470	0.357	0.479	0.325	0.469
26-28歳	0.338	0.473	0.230	0.421	0.357	0.479
29-31歳	0.141	0.348	0.076	0.266	0.152	0.359
32-34歳	0.040	0.197	0.033	0.179	0.042	0.200
35歳以上	0.015	0.121	0.011	0.103	0.015	0.123
父結婚年齢						
18-22歳	0.072	0.258	0.185	0.389	0.052	0.222
23-25歳	0.215	0.411	0.284	0.451	0.203	0.402
26-28歳	0.313	0.464	0.257	0.437	0.323	0.468
29-31歳	0.212	0.409	0.143	0.351	0.224	0.417
32-34歳	0.108	0.310	0.068	0.253	0.115	0.319
35歳以上	0.080	0.271	0.062	0.241	0.083	0.276
第1回時結婚持続期間						
1年以下	0.003	0.057	0.008	0.089	0.002	0.050
2-3年	0.252	0.434	0.366	0.482	0.231	0.422
4-5年	0.404	0.491	0.354	0.478	0.413	0.492
6-8年	0.262	0.440	0.202	0.401	0.273	0.446
9年以上	0.079	0.270	0.070	0.255	0.081	0.272
第1子婚前妊娠						
	0.203	0.403	0.372	0.484	0.173	0.379
母の学歴						
中学校	0.032	0.175	0.121	0.326	0.016	0.124
高校	0.402	0.490	0.535	0.499	0.379	0.485
専修・専門学校	0.186	0.389	0.198	0.398	0.184	0.387
短大・高専	0.242	0.428	0.105	0.307	0.266	0.442
大学・大学院	0.138	0.345	0.041	0.198	0.156	0.363
父の学歴						
中学校	0.063	0.243	0.177	0.382	0.043	0.203
高校	0.395	0.489	0.519	0.500	0.372	0.483
専修・専門学校	0.133	0.339	0.135	0.342	0.132	0.339
短大・高専	0.033	0.177	0.016	0.125	0.035	0.185
大学・大学院	0.377	0.485	0.153	0.360	0.417	0.493
母対象児出産1年前の就業状況						
無職・学生	0.680	0.467	0.665	0.472	0.682	0.466
常勤 (出産後離職)	0.036	0.187	0.041	0.197	0.035	0.185
常勤 (育児取得あり)	0.105	0.307	0.058	0.234	0.113	0.317
常勤 (育児取得なし)	0.025	0.155	0.027	0.162	0.024	0.154
パート・アルバイト	0.097	0.296	0.142	0.349	0.089	0.285
自営業・その他	0.057	0.232	0.067	0.250	0.055	0.229
父の就業状況 (対象児出生半年後)						
無職・学生	0.012	0.110	0.020	0.142	0.011	0.103
常勤	0.850	0.357	0.793	0.405	0.860	0.347
パート・アルバイト	0.009	0.094	0.012	0.107	0.008	0.091
自営業・その他	0.118	0.323	0.161	0.368	0.111	0.314
不詳	0.011	0.103	0.014	0.115	0.010	0.100
父母の親との同居 (対象児出生半年後)						
父母の親と別居	0.790	0.407	0.781	0.414	0.792	0.406
母の親と同居	0.055	0.227	0.069	0.253	0.052	0.222
父の親と同居	0.155	0.362	0.150	0.358	0.156	0.363
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	0.809	0.393	0.823	0.382	0.807	0.395
父母の喫煙状況						
父喫煙 (対象児出生半年後) 有無	0.623	0.485	0.924	0.265	0.570	0.495
母喫煙 (対象児出生半年後) 有無	0.151	0.358	1.000	0.000	0.000	0.000
母喫煙本数 (対象児出生半年後)						
喫煙なし	0.849	0.358	0.000	0.000	1.000	0.000
1日1-5本	0.034	0.182	0.229	0.420	0.000	0.000
1日6-10本	0.067	0.250	0.446	0.497	0.000	0.000
1日11本以上	0.049	0.216	0.325	0.469	0.000	0.000
父親と別居 (対象児出生半年後)						
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
父親と同居 (第6回調査)						
	0.749	0.433	0.589	0.492	0.778	0.416
父親と別居 (第6回調査)						
	0.037	0.189	0.067	0.249	0.032	0.176
第7回調査までに脱落						
	0.214	0.410	0.344	0.475	0.190	0.393

父母の学歴は第2回データより

V 共変量の調整

喫煙習慣の有無が次子出生確率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。

(1) 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、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 IPTE 法 (inverse probability treatment estimation、逆確率処理推定) が提案されている (Rubin 1985)。IPTE 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。

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

$\hat{E}(y_1)$ 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、IPTE 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 IPTE 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。

(2) 本研究における共変量調整

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次子出生タイミング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 IPTE 法による共変量調整を行った上で、次子出生タイミング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 IPTE 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。

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 は第 1 子出生父母についての母喫煙傾向スコア算出モデルであり、表 4 は第 2 子出生父母についての母喫煙傾向スコア算出モデルである。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 1.2~1.5 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 1.4 倍前後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、自営業・その他 (第 1 子出生父母)、パート・アルバイト (第 2 子出生父母) で喫煙確率が高い結果となっている。父の就業状況では、常勤に比べて無職や自営業・その他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。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る。父の喫煙が最も大きな影響を持ち、第 1 子出生父母についてはオッズ比にして 7 倍、第 2 子出生父母については 6 倍ほど母の喫煙確率が高いことがわかった。

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）：
第1子出生父母

共変量	β		Std. Err.	Odds Ratio
母結婚年齢				
16-22歳	0.156	*	0.077	1.168
23-25歳	0.185	**	0.059	1.203
26-28歳(ref.)				
29-31歳	-0.056		0.074	0.946
32-34歳	-0.028		0.108	0.972
35歳以上	0.012		0.140	1.012
父結婚年齢				
18-22歳	0.295	**	0.087	1.343
23-25歳	0.128	*	0.063	1.136
26-28歳(ref.)				
29-31歳	0.005		0.067	1.005
32-34歳	-0.166	+	0.087	0.847
35歳以上	-0.084		0.090	0.920
第1回結婚持続期間				
1年以下	0.248	**	0.090	1.282
2-3年	0.153	+	0.088	1.165
4-5年(ref.)				
6-8年	0.120		0.133	1.128
9年以上	-0.151		0.213	0.860
第1子婚前妊娠				
	0.373	**	0.059	1.452
母の学歴				
中学校	1.009	**	0.092	2.743
高校(ref.)				
専修・専門学校	-0.228	**	0.057	0.796
短大・高専	-0.785	**	0.064	0.456
大学・大学院	-1.156	**	0.104	0.315
父の学歴				
中学校	0.556	**	0.070	1.744
高校(ref.)				
専修・専門学校	-0.111	+	0.062	0.895
短大・高専	-0.508	**	0.150	0.602
大学・大学院	-0.517	**	0.063	0.597
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)	-0.064		0.060	0.938
常勤(育休取得あり)	-0.182	*	0.079	0.834
常勤(育休取得なし)	0.071		0.131	1.073
パート・アルバイト	0.071		0.062	1.073
自営業・その他	0.204	+	0.121	1.227
父の就業状況(対象児出生半年後)				
無職・学生	0.404	**	0.150	1.497
常勤(ref.)				
パート・アルバイト	0.221		0.147	1.247
自営業・その他	0.154	*	0.071	1.167
不詳	0.263		0.203	1.301
父母の親との同居(対象児出生半年後)				
父母の親と別居(ref.)				
母の親と同居	-0.065		0.093	0.937
父の親と同居	-0.118	+	0.061	0.889
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	0.149	**	0.054	1.161
父母の喫煙状況(対象児出生半年後)				
父喫煙(対象児出生半年後)	1.976	**	0.076	7.212
定数項				
Number of obs	20,077			
LR chi2	3360.58	**		
Pseudo R2	0.195			
Log likelihood	-6927.68			
df.	37			
AIC	13929.36			
BIC	14221.93			

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

表4 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）：

第2子出生父母

共変量	β		Std. Err.	Odds Ratio
母結婚年齢				
16-22歳	0.389	**	0.087	1.475
23-25歳	0.200	**	0.069	1.222
26-28歳(ref.)				
29-31歳	-0.134		0.102	0.875
32-34歳	0.177		0.152	1.194
35歳以上	0.127		0.251	1.136
父結婚年齢				
18-22歳	0.335	**	0.099	1.399
23-25歳	0.112		0.072	1.119
26-28歳(ref.)				
29-31歳	-0.104		0.082	0.901
32-34歳	-0.111		0.108	0.895
35歳以上	-0.117		0.121	0.890
第1回時結婚持続期間				
1年以下	0.510		0.338	1.666
2-3年	0.240	**	0.066	1.271
4-5年(ref.)				
6-8年	-0.043		0.070	0.958
9年以上	-0.029		0.108	0.972
第1子婚前妊娠				
	0.324	**	0.064	1.383
母の学歴				
中学校	1.251	**	0.112	3.494
高校(ref.)				
専修・専門学校	-0.052		0.068	0.950
短大・高専	-0.782	**	0.082	0.458
大学・大学院	-0.812	**	0.125	0.444
父の学歴				
中学校	0.477	**	0.084	1.611
高校(ref.)				
専修・専門学校	-0.188	*	0.078	0.828
短大・高専	-0.647	**	0.189	0.524
大学・大学院	-0.485	**	0.076	0.616
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)	0.057		0.134	1.058
常勤(育休取得あり)	-0.216	*	0.105	0.806
常勤(育休取得なし)	0.187		0.158	1.206
パート・アルバイト	0.244	**	0.081	1.276
自営業・その他	0.128		0.114	1.136
父の就業状況(対象児出生半年後)				
無職・学生	0.409	*	0.198	1.505
常勤(ref.)				
パート・アルバイト	-0.024		0.254	0.977
自営業・その他	0.244	**	0.078	1.277
不詳	0.058		0.238	1.059
父母の親との同居(対象児出生半年後)				
父母の親と別居(ref.)				
母の親と同居	0.005		0.106	1.005
父の親と同居	-0.308	**	0.074	0.735
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	0.195	**	0.067	1.215
父母の喫煙状況(対象児出生半年後)				
父喫煙(対象児出生半年後)	1.791	**	0.086	5.994
定数項				
	-3.336	**	0.127	
Number of obs	14,241			
LR chi2	2364.75	**		
Pseudo R2	0.1957			
Log likelihood	-4857.94			
df.	37			
AIC	9789.89			
BIC	10069.75			

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

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。調整前のデータについて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3の調整前）、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裾をひく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。

図3 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(マッチング法)

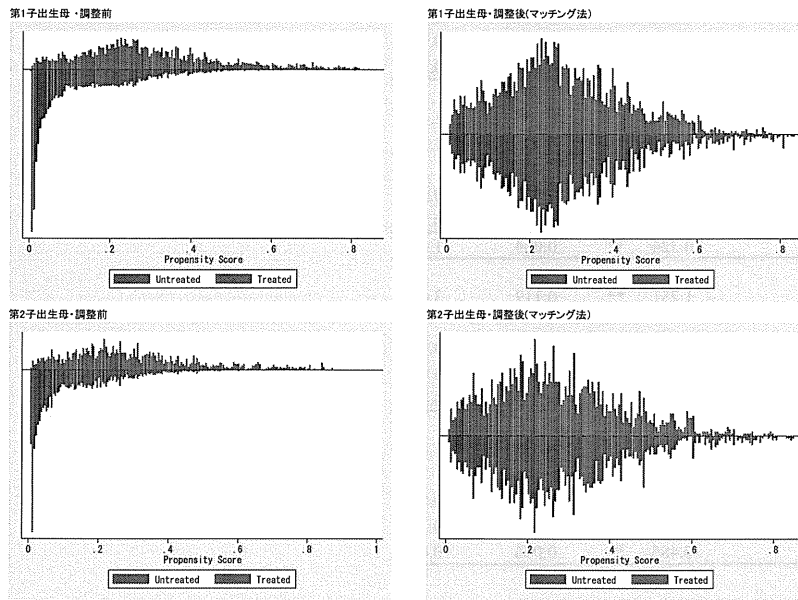
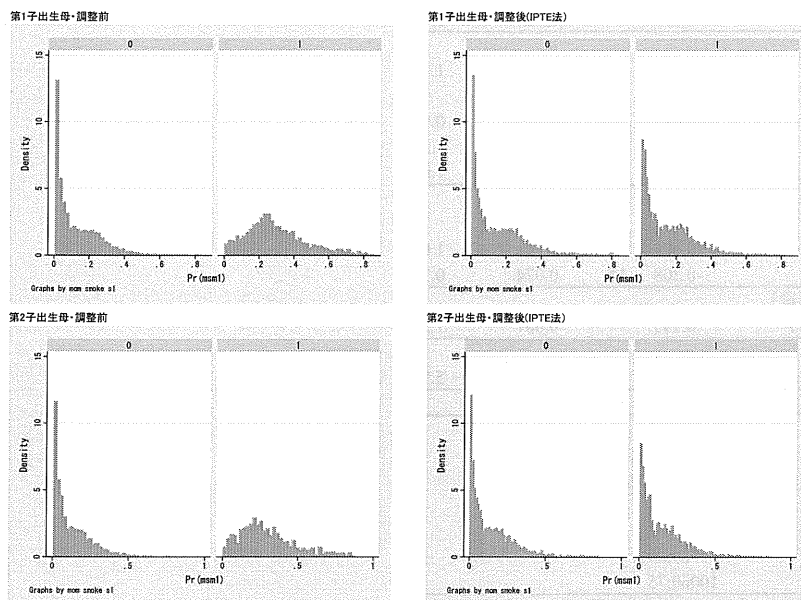


図4 母の禁煙習慣の有無別にみた傾向スコアのヒストグラム (IPTE法)



注：各図左が非喫煙群、右が喫煙群。

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、第1子出生母は5,872ケース、第2子出生母は4,022となった。元々の分析ケースはおよそ2万と1万4千であったが、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1万4千ケース、1万ケースをそれぞれ分析から除外したことになる。図3の調整後（マッチング法）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4は、IPTE法を用いて重み付けした前後の、喫煙群、非喫煙群の傾向スコアの分布である。IPTE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を行うことができる。

表5、表6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 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あるいはウェイト調整したデータについては、多くの共変量について母の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。

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：第1子出生母

共変量	調整前		マッチング後		IPTE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	573.388	0.000 **	0.802	0.371	0.510	0.477
23-25歳	16.668	0.000 **	0.499	0.480	0.170	0.684
26-28歳	114.206	0.000 **	0.149	0.700	0.250	0.618
29-31歳	67.594	0.000 **	0.364	0.547	1.510	0.220
32-34歳	19.917	0.000 **	0.000	1.000	0.130	0.717
35歳以上	6.049	0.014 *	0.025	0.874	1.930	0.165
父結婚年齢						
18-22歳	516.272	0.000 **	0.001	0.971	0.030	0.855
23-25歳	81.996	0.000 **	0.529	0.467	0.360	0.551
26-28歳	30.716	0.000 **	0.004	0.953	0.040	0.839
29-31歳	57.019	0.000 **	1.043	0.307	1.250	0.263
32-34歳	45.741	0.000 **	0.002	0.962	0.300	0.583
35歳以上	25.154	0.000 **	0.102	0.750	2.450	0.118
第1回時結婚持続期間						
1年以下	305.118	0.000 **	0.782	0.377	0.140	0.704
2-3年	116.460	0.000 **	0.022	0.883	0.030	0.863
4-5年	55.393	0.000 **	1.729	0.189	0.010	0.923
6-8年	18.112	0.000 **	0.000	1.000	0.670	0.412
9年以上	7.076	0.008 **	0.144	0.704	2.940	0.086 +
第1子婚前妊娠	574.483	0.000 **	0.494	0.482	2.630	0.105
母の学歴						
中学校	783.372	0.000 **	0.192	0.661	1.950	0.162
高校	375.462	0.000 **	0.006	0.937	2.070	0.151
専修・専門学校	0.194	0.659	0.001	0.974	3.670	0.055 +
短大・高専	293.260	0.000 **	0.214	0.643	0.650	0.422
大学・大学院	384.563	0.000 **	0.004	0.948	4.220	0.040 *
父の学歴						
中学校	739.457	0.000 **	1.411	0.235	0.440	0.505
高校	219.575	0.000 **	0.361	0.548	0.000	0.986
専修・専門学校	2.230	0.135	0.005	0.943	0.720	0.395
短大・高専	19.165	0.000 **	0.218	0.641	0.060	0.800
大学・大学院	788.963	0.000 **	0.005	0.943	0.450	0.502
母対象児出産1年前の就業状況						
無職・学生	0.809	0.368	0.015	0.903	2.260	0.133
常勤（出産後離職）	1.312	0.252	0.007	0.933	0.240	0.626
常勤（育休取得あり）	74.765	0.000 **	0.116	0.733	1.120	0.291
常勤（育休取得なし）	2.982	0.084	0.022	0.882	0.170	0.683
パート・アルバイト	35.041	0.000 **	0.057	0.812	0.570	0.451
自営業・その他	1.098	0.295	1.336	0.248	1.060	0.303
父の就業状況（対象児出生半年後）						
無職・学生	19.261	0.000 **	0.511	0.475	0.800	0.373
常勤	83.314	0.000 **	0.782	0.377	4.100	0.043 *
パート・アルバイト	36.658	0.000 **	0.066	0.797	1.350	0.246
自営業・その他	28.964	0.000 **	0.228	0.633	2.120	0.145
不詳	7.280	0.007	0.136	0.712	0.000	0.966
父母の親との同居（対象児出生半年後）						
父母の親と別居	38.593	0.000 **	0.958	0.328	0.110	0.737
母の親と同居	14.591	0.000 **	0.074	0.786	0.380	0.538
父の親と同居	21.458	0.000 **	1.668	0.197	0.650	0.422
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	1.512	0.219	0.027	0.869	0.090	0.767
父喫煙（対象児出生半年後）	1500.000	0.000 **	0.894	0.344	1.980	0.160

Significance level. 0.1 +0.05 * 0.01 **

表6 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：第2子出生母

共変量	調整前		マッチング後		IPTWサンプルウェイト	
	Pearson χ^2 値	Pr	Pearson χ^2 値	Pr	Wald χ^2 値	Pr
母結婚年齢						
16-22歳	525.811	0.000 **	1.179	0.278	1.530	0.215
23-25歳	7.994	0.005 **	0.426	0.514	0.640	0.422
26-28歳	130.384	0.000 **	0.110	0.740	3.240	0.072 +
29-31歳	86.222	0.000 **	0.818	0.366	0.540	0.463
32-34歳	3.500	0.061 +	0.067	0.796	4.380	0.036 *
35歳以上	2.840	0.092	0.701	0.402	0.930	0.335
父結婚年齢						
18-22歳	487.292	0.000 **	0.017	0.897	0.530	0.467
23-25歳	69.535	0.000 **	0.122	0.727	0.000	0.993
26-28歳	36.526	0.000 **	0.364	0.546	0.100	0.757
29-31歳	71.010	0.000 **	0.018	0.894	0.680	0.411
32-34歳	40.731	0.000 **	0.894	0.492	0.160	0.689
35歳以上	11.137	0.001 **	0.405	0.524	0.005	0.830
第1回時結婚持続期間						
1年以下	16.371	0.000 **	0.000	1.000	0.090	0.762
2-3年	176.266	0.000 **	0.906	0.341	1.220	0.270
4-5年	25.726	0.000 **	0.017	0.896	1.050	0.306
6-8年	48.047	0.000 **	0.185	0.667	0.310	0.578
9年以上	2.878	0.090 +	0.800	0.371	1.120	0.289
第1子婚前妊娠	445.424	0.000 **	0.010	0.921	4.080	0.043 *
母の学歴						
中学校	661.325	0.000 **	0.251	0.617	0.010	0.935
高校	184.425	0.000 **	0.123	0.726	1.370	0.242
専修・専門学校	2.402	0.121	0.878	0.349	1.080	0.300
短大・高専	257.087	0.000 **	0.121	0.728	3.340	0.068 +
大学・大学院	201.177	0.000 **	0.024	0.877	0.000	0.989
父の学歴						
中学校	556.986	0.000 **	0.096	0.757	0.730	0.393
高校	164.192	0.000 **	0.225	0.635	1.410	0.235
専修・専門学校	0.109	0.742	0.002	0.964	0.500	0.481
短大・高専	22.382	0.000 **	0.254	0.614	0.000	0.995
大学・大学院	541.581	0.000 **	0.539	0.463	2.600	0.107
母対象児出産1年前の就業状況						
無職・学生	2.477	0.116	1.017	0.313	0.120	0.735
常勤（出産後離職）	1.367	0.242	0.060	0.807	0.000	0.998
常勤（育休取得あり）	58.928	0.000 **	0.004	0.948	0.050	0.823
常勤（育休取得なし）	0.583	0.445	0.987	0.320	1.040	0.309
パート・アルバイト	57.666	0.000 **	0.558	0.455	0.530	0.467
自営業・その他	4.653	0.031	0.016	0.900	0.080	0.771
父の就業状況（対象児出生半年後）						
無職・学生	14.320	0.000 **	0.129	0.719	0.360	0.548
常勤	63.453	0.000 **	0.025	0.875	0.030	0.854
パート・アルバイト	2.119	0.146	2.657	0.103	2.940	0.087 +
自営業・その他	44.334	0.000 **	0.267	0.605	0.000	0.989
不詳	1.915	0.166	0.179	0.672	0.580	0.448
父母の親との同居（対象児出生半年後）						
父母の親と別居	1.448	0.229	0.023	0.879	0.080	0.777
母の親と同居	9.864	0.002 **	0.016	0.899	0.270	0.605
父の親と同居	0.385	0.535	0.008	0.930	0.260	0.612
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	2.978	0.084 +	0.002	0.967	0.010	0.920
父喫煙（対象児出生半年後）	974.266	0.000 **	0.122	0.727	1.230	0.267

Significance level. 0.1 +0.05 * 0.01 **

VI CLL モデルによる推定結果

(1) 第2子、第3子出生タイミング

第2子出生タイミングに関するモデル推定の結果を表7に示した。ここに示した結果は共変量の調整は行っていないデータを用いたものである。まず時間固定変数のみを共変量に含めた Model2A1 の結果を見てみよう。父の喫煙のハザード比は 0.92 で 1%水準で有意、母の喫煙のハザード比も 0.75 で 1%水準で有意であった。このモデルは子の父（母の夫）の同別居が統制されていない。父親が別居している場合、次子出生確率は低められると考えられるが、もし喫煙者ほど父親が別居しやすいという関係がある場合、喫煙の効果に父別居の効果が含まれている可能性がある。そこで、Model2A2 では、時間で変化する父同別居変数を加えた。各調査時点で把握される父同別居情報は、調査時点を含んで半年前と半年後に反映させている。父親別居ダミーはハザード比 0.2 とかなりマイナスの効果を持つことがわかる。そして父同別居を統制しても父母の喫煙効果は 1%水準で有意に低いことが示された。

さらに、母の喫煙の有無と次子出生タイミングとの関係が因果的であることを補強するため、喫煙の有無ではなく 1 日のタバコの本数を統制したモデルが Model2A3 である。タバコの本数変数は、非喫煙群に比べいずれもマイナスの効果を示しているが、本数が多くなるほど引き下げ効果が強いことが分かる。こうした量-反応関係は喫煙による物質的要素が身体に影響を及ぼし、それが妊孕性（受胎待ち時間）や懐胎継続（流死産）に影響を及ぼしている可能性をより強化するものであると言える。

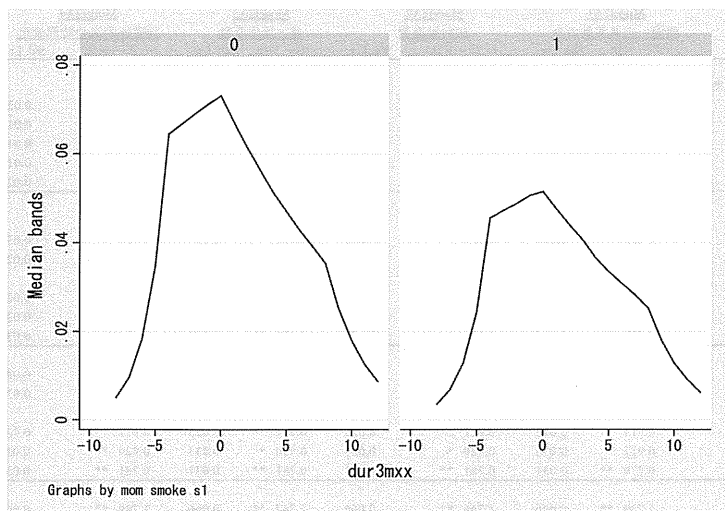
最後の Model2A4 は、母の喫煙効果（ハザード比）が時間によって一定であるという比例ハザード性を緩めたモデルである。図5は CLL モデルで推定された母の喫煙の有無別にみたハザード関数である。上が、比例ハザード性を仮定した Model2A2 の結果であり、下がその仮定を緩めた Model2A4 の結果である。より実態に近いハザード関数の形状をみると、母喫煙の場合のハザードは、2年目以降、非喫煙グループに比べ勢いよく減少していることが分かる。

表7 第2子出生タイミングに関するGLLモデルの推定結果（共変量調整前）

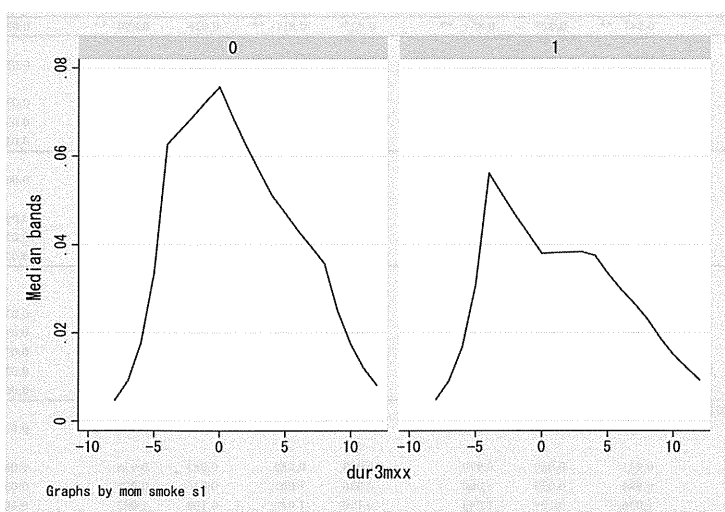
共変量	第2子調整前							
	Model2A1		Model2A2		Model2A3		Model2A4	
	時間一定共変量のみ ハザード比	Std. Err.	父別居追加 ハザード比	Std. Err.	量-反応変数 ハザード比	Std. Err.	母喫煙効果の時間変化 ハザード比	Std. Err.
区分線型スプライン								
前子出生後9ヶ月後からの経過時間								
0年(0-11ヶ月)	1.901 **	0.032	1.907 **	0.032	1.907 **	0.032	1.917 **	0.035
1年	1.037 **	0.009	1.040 **	0.009	1.040 **	0.009	1.057 **	0.010
2年	0.919 **	0.009	0.923 **	0.009	0.923 **	0.009	0.914 **	0.010
3年	0.914 **	0.013	0.918 **	0.013	0.918 **	0.013	0.922 **	0.014
4年以上	0.708 **	0.019	0.711 **	0.019	0.711 **	0.019	0.697 **	0.020
時間固定変数								
母結婚年齢								
16-22歳	0.903 *	0.038	0.911 *	0.038	0.910 *	0.038	0.910 *	0.038
23-25歳	1.010	0.026	1.010	0.026	1.009	0.026	1.010	0.026
26-28歳(ref.)								
29-31歳	0.893 **	0.027	0.893 **	0.027	0.893 **	0.027	0.893 **	0.027
32-34歳	0.814 **	0.037	0.811 **	0.037	0.810 **	0.037	0.811 **	0.037
35歳以上	0.473 **	0.035	0.471 **	0.035	0.471 **	0.035	0.470 **	0.035
父結婚年齢								
18-22歳	0.919 +	0.047	0.945	0.049	0.944	0.049	0.944	0.049
23-25歳	0.999	0.030	1.006	0.030	1.005	0.030	1.006	0.030
26-28歳(ref.)								
29-31歳	0.911 **	0.025	0.911 **	0.025	0.911 **	0.025	0.911 **	0.025
32-34歳	0.927 *	0.033	0.929 *	0.033	0.930 *	0.033	0.929 *	0.033
35歳以上	0.779 **	0.031	0.781 **	0.031	0.781 **	0.031	0.781 **	0.031
第1回時結婚持続期間								
1年以下	1.739 **	0.066	1.748 **	0.066	1.747 **	0.066	1.749 **	0.066
2-3年	1.492 **	0.054	1.490 **	0.054	1.490 **	0.054	1.491 **	0.054
4-5年(ref.)								
6-8年	0.732 **	0.045	0.725 **	0.044	0.726 **	0.044	0.725 **	0.044
9年以上	0.281 **	0.041	0.277 **	0.040	0.276 **	0.040	0.276 **	0.040
第1子婚前妊娠								
母の学歴								
中学校	0.689 **	0.050	0.695 **	0.051	0.702 **	0.051	0.695 **	0.051
高校(ref.)								
専修・専門学校	1.049 +	0.030	1.054 +	0.030	1.054 +	0.030	1.055 +	0.030
短大・高専	1.153 **	0.031	1.160 **	0.031	1.159 **	0.031	1.161 **	0.031
大学・大学院	1.139 **	0.037	1.151 **	0.037	1.149 **	0.037	1.151 **	0.037
父の学歴								
中学校	0.911 +	0.044	0.948	0.046	0.950	0.046	0.948	0.046
高校(ref.)								
専修・専門学校	1.041	0.031	1.037	0.031	1.037	0.031	1.037	0.031
短大・高専	1.029	0.058	1.042	0.059	1.043	0.059	1.042	0.059
大学・大学院	1.040	0.026	1.030	0.026	1.030	0.026	1.030	0.026
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)	1.150 **	0.031	1.152 **	0.031	1.151 **	0.031	1.152 **	0.031
常勤(育休取得あり)	1.096 **	0.035	1.101 **	0.035	1.100 **	0.035	1.101 **	0.035
常勤(育休取得なし)	1.115 +	0.071	1.125 +	0.072	1.123 +	0.072	1.124 +	0.072
パート・アルバイト	1.082 **	0.032	1.086 **	0.032	1.085 **	0.032	1.086 **	0.032
自営業・その他	1.011	0.060	1.007	0.060	1.006	0.060	1.007	0.060
父の就業状況(対象児出生半年後)								
無職・学生								
常勤(ref.)	0.693 **	0.064	0.709 **	0.065	0.710 **	0.065	0.709 **	0.065
パート・アルバイト	0.943	0.080	0.979	0.083	0.980	0.083	0.978	0.083
自営業・その他	0.994	0.035	1.000	0.036	1.001	0.036	0.999	0.036
不詳	1.036	0.109	1.043	0.110	1.040	0.109	1.042	0.109
父母の親との同居(対象児出生半年後)								
父母の親と同居(ref.)								
母の親と同居	0.967	0.046	1.001	0.048	1.001	0.048	1.001	0.048
父の親と同居	1.125 **	0.033	1.117 **	0.032	1.116 **	0.032	1.117 **	0.032
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								
	0.957 +	0.023	0.959 +	0.023	0.959 +	0.023	0.959 +	0.023
父母の喫煙状況								
父喫煙(対象児出生半年後)								
	0.922 **	0.020	0.929 **	0.020	0.929 **	0.020	0.929 **	0.020
母喫煙(対象児出生半年後)								
	0.746 **	0.024	0.756 **	0.024			0.847	0.201
母喫煙(対象児出生半年後) カテゴリ								
喫煙なし								
1日1-5本					0.787 **	0.043		
1日6-10本					0.770 **	0.035		
1日11本以上					0.702 **	0.041		
経過時間×母喫煙								
0年×母喫煙							0.968	0.047
1年×母喫煙							0.862 **	0.024
2年×母喫煙							1.100 **	0.036
3年×母喫煙							0.967	0.042
4年以上×母喫煙							1.155 *	0.085
時間変化変数								
父親が別居								
			0.215 **	0.022	0.215 **	0.022	0.216 **	0.022
Number of Obs	274,965		274,965		274,965		274,965	
LR chi2	5359.56 **		5737.11 **		5739.66 **		5782.15 **	
Log likelihood	-42128.06		-41939.29		-41938.01		-41916.76	
df.	43		44		46		49	
AIC	84342.12		83966.57		83968.02		83931.53	
BIC	84794.67		84429.64		84452.14		84447.22	

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

図5 CLLモデルによって推定されたハザード関数(第2子出生)
Model 2A2 (比例ハザード性を仮定)



Model 2A4 (比例ハザード性を仮定しない)



注：横軸は待ち時間であり、時間間隔の1単位が3ヶ月、0を24ヶ月時点に調整した。

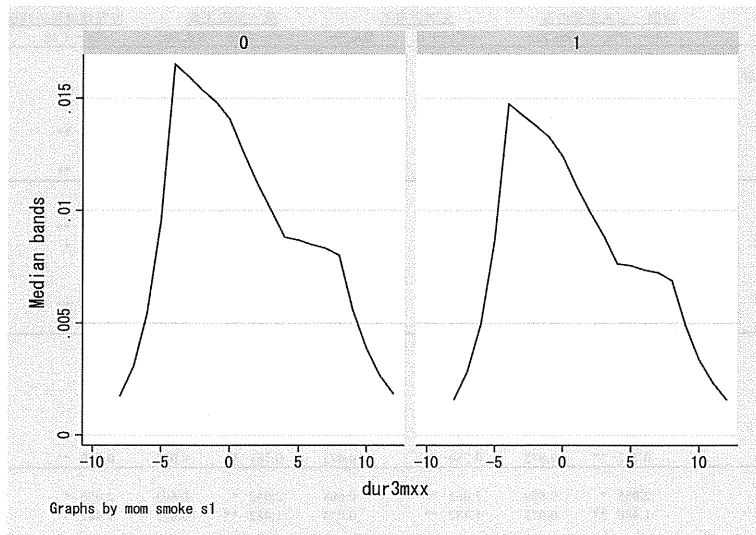
第3子出生タイミングについては、父別居を統制していない Model 3A1、時点ごとの父別居を統制した Model 3A2 とともに、父の喫煙の影響は5%の水準で統計的にマイナスに有意、母の喫煙は1%の水準でマイナスに有意であるが、第2子に比べ効果は弱い。ただし量—反応関係ははっきりと出ており、1日11本以上吸っている場合は73%ほどにハザード比が押さえられる。ハザード比の時間変化を許したモデルにおいては、時間変数との交互作用は有意ではなく、比例ハザード性を仮定した推定値と近い形状になっている(図6)。

表8 第3子出生タイミングに関するGLLモデルの推定結果（共変量調整前）

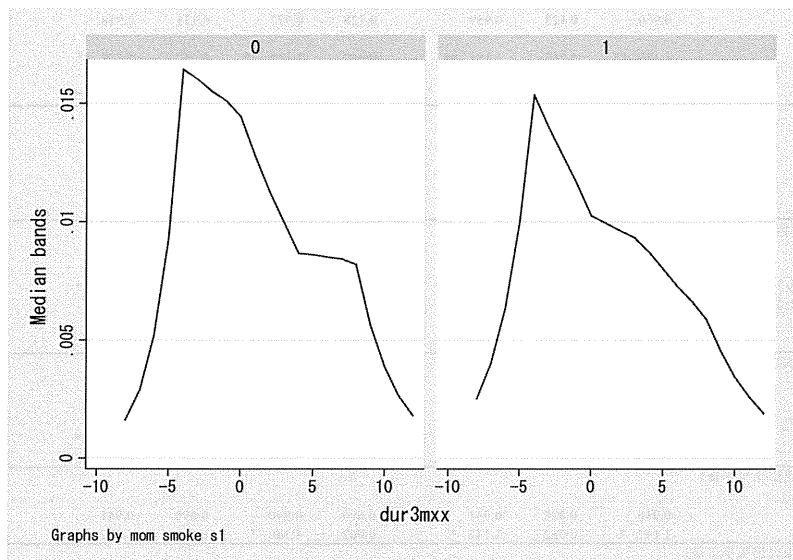
共変量	第3子 調整前							
	Model3A1		Model3A2		Model3A3		Model3A4	
	時間一定共変量のみ		父別居追加		量-反応変数		母喫煙効果の時間変化	
	ハザード比	Std. Err.	ハザード比	Std. Err.	ハザード比	Std. Err.	ハザード比	Std. Err.
区分線型スプライン								
前子出生後9ヶ月後からの経過時間								
0年(0-11ヶ月)	1.756 **	0.060	1.760 **	0.060	1.760 **	0.060	1.796 **	0.068
1年	0.965 +	0.018	0.967 +	0.018	0.967 +	0.018	0.975	0.020
2年	0.892 **	0.019	0.894 **	0.019	0.894 **	0.019	0.884 **	0.020
3年	0.980	0.026	0.982	0.026	0.982	0.026	0.992	0.028
4年以上	0.694 **	0.031	0.695 **	0.031	0.695 **	0.031	0.687 **	0.033
時間固定変数								
母結婚年齢								
16-22歳	1.245 **	0.095	1.256 **	0.096	1.257 **	0.096	1.256 **	0.096
23-25歳	1.109 *	0.058	1.110 *	0.058	1.109 *	0.058	1.110 *	0.058
26-28歳(ref.)								
29-31歳	0.922	0.063	0.926	0.063	0.926	0.063	0.926	0.063
32-34歳	0.680 **	0.087	0.676 **	0.087	0.678 **	0.087	0.676 **	0.087
35歳以上	0.258 **	0.080	0.254 **	0.078	0.255 **	0.079	0.254 **	0.078
父結婚年齢								
18-22歳	0.908	0.087	0.923	0.089	0.926	0.089	0.922	0.088
23-25歳	0.952	0.056	0.958	0.056	0.958	0.056	0.958	0.056
26-28歳(ref.)								
29-31歳	0.939	0.054	0.939	0.054	0.939	0.054	0.939	0.054
32-34歳	0.839 *	0.065	0.840 *	0.065	0.840 *	0.065	0.839 *	0.065
35歳以上	0.757 **	0.073	0.760 **	0.073	0.761 **	0.073	0.760 **	0.073
第1回結婚維持期間								
1年以下	2.065 *	0.609	2.062 *	0.608	2.042 *	0.603	2.056 *	0.607
2-3年	1.480 **	0.073	1.482 **	0.073	1.482 **	0.073	1.482 **	0.073
4-5年(ref.)								
6-8年	0.571 **	0.033	0.569 **	0.033	0.569 **	0.033	0.569 **	0.033
9年以上	0.289 **	0.036	0.287 **	0.036	0.288 **	0.036	0.287 **	0.036
第1子婚前妊娠								
0.955	0.053	0.963	0.053	0.963	0.053	0.963	0.053	
母の学歴								
中学校	0.960	0.128	0.959	0.128	0.977	0.131	0.958	0.128
高校(ref.)								
専修・専門学校	1.178 **	0.067	1.175 **	0.067	1.173 **	0.067	1.175 **	0.067
短大・高専	1.006	0.058	1.007	0.058	1.006	0.058	1.007	0.058
大学・大学院	1.200 **	0.084	1.206 **	0.085	1.204 **	0.084	1.206 **	0.085
父の学歴								
中学校	0.878	0.084	0.895	0.085	0.900	0.086	0.895	0.085
高校(ref.)								
専修・専門学校	1.030	0.066	1.034	0.067	1.033	0.066	1.034	0.067
短大・高専	1.176	0.130	1.175	0.130	1.175	0.130	1.175	0.130
大学・大学院	1.081	0.059	1.078	0.058	1.078	0.058	1.078	0.058
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)	1.220 *	0.124	1.238 *	0.125	1.238 *	0.125	1.238 *	0.125
常勤(育休取得あり)	1.251 **	0.081	1.261 **	0.082	1.262 **	0.082	1.261 **	0.082
常勤(育休取得なし)	1.132	0.149	1.145	0.151	1.147	0.151	1.145	0.151
パート・アルバイト	1.055	0.080	1.060	0.080	1.060	0.080	1.059	0.080
自営業・その他	1.201 *	0.109	1.197 *	0.109	1.198 *	0.109	1.198 *	0.109
父の就業状況(対象児出生半年後)								
無職・学生								
常勤(ref.)	0.919	0.179	0.938	0.182	0.939	0.182	0.938	0.182
パート・アルバイト	0.987	0.228	1.031	0.239	1.024	0.237	1.031	0.239
自営業・その他	1.328 **	0.085	1.329 **	0.086	1.331 **	0.086	1.329 **	0.086
不詳	0.913	0.201	0.910	0.200	0.908	0.200	0.910	0.200
父母の親との同居(対象児出生半年後)								
父母の親と同居(ref.)								
母の親と同居	0.916	0.088	0.941	0.090	0.940	0.090	0.941	0.090
父の親と同居	1.147 *	0.062	1.142 *	0.062	1.140 *	0.062	1.142 *	0.062
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	0.786 **	0.038	0.787 **	0.039	0.786 **	0.038	0.787 **	0.039
父母の喫煙状況								
父喫煙(対象児出生半年後)								
0.908 *	0.040	0.911 *	0.041	0.911 *	0.041	0.911 *	0.041	
母喫煙(対象児出生半年後)								
0.817 **	0.053	0.828 **	0.054			0.532	0.244	
母喫煙(対象児出生半年後)カテゴリ								
喫煙なし								
1日1-5本					0.932	0.106		
1日6-10本					0.835 *	0.075		
1日11本以上					0.729 **	0.083		
経過時間×母喫煙								
0年×母喫煙							0.885	0.080
1年×母喫煙							0.936	0.054
2年×母喫煙							1.097	0.071
3年×母喫煙							0.920	0.074
4年以上×母喫煙							1.104	0.148
時間変化変数								
父親が別居			0.351 **	0.072	0.351 **	0.072	0.352 **	0.073
Number of Obs								
257,505			257,505		257,505		257,505	
LR chi2								
1301.26 **			1338.2 **		1340.77 **		1344.69 **	
Log likelihood								
-13052.76			-13034.29		-13033.00		-13031.05	
df								
43			44		46		49	
AIC								
26191.52			26156.58		26158.01		26160.09	
BIC								
26641.25			26616.77		26639.11		26672.57	

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

図6 CLLモデルによって推定されたハザード関数(第3子出生)
Model 3A2 (比例ハザード性を仮定)



Model 3A4 (比例ハザード性を仮定しない)



注：横軸は待ち時間であり、時間間隔の1単位が3ヶ月、0を24ヶ月時点に調整した。

(2) 傾向スコアによる調整後の結果

以上の結果は共変量を調整していない。すなわち、母喫煙グループと非喫煙グループの属性が大きく違うなかで、共変量の統制のみを行った結果である。しかし比較するグループの属性構造が大きく異なることが喫煙効果にバイアスをもたらす可能性もある。そこで、以下では傾向スコアを使ったマッチング法および IPTE 法によって共変量の構造とバランスさせた上で同様の分析を行う。