

Age-period-cohort分析を用いた男児出生割合の変動と 震災による心的外傷後ストレス障害

ウチダ ヒロユキ オダギリ ヨウイチ
内田 博之*1 小田切 陽一*2

目的 男児出生割合は、震災後に受ける心的外傷後ストレス障害（PTSD）により低下する可能性が危惧されている。本研究は、2011年3月11日に発生した東日本大震災後に受けたであろう心的外傷後ストレスの影響が男児出生割合の年次推移に影響を及ぼす可能性について、年齢効果、時代効果およびコホート効果のトレンドを推定することで検討した。

方法 出生数は、1979～2016年（全国は1947年から）の人口動態統計から都道府県別に母の年齢別（15～44歳）の性別出生数を使用した。震災による死亡者数、不明者数および負傷者数から、PTSDの発症の危険が低かったであろうと考えられた33都道府県（非被災地域）および発症の危険が中等度以上であったであろうと考えられた14都道府県（被災地域）に分類した。男児出生割合の移動平均（3年移動平均）の年次推移を観察するとともに、ベイズ型age-period-cohort（APC）分析を用いて、非被災地域および被災地域の男児出生割合の経時的変動に対する年齢効果、時代効果およびコホート効果を推定した。

結果 男児出生割合の移動平均の年次推移は、全地域および被災地域では2011年および2012年において低下傾向、非被災地域では2012年に低下が観察された。全地域と比較して被災地域の方は低下傾向が強かった。また、非被災地域と比較して被災地域は、時代効果が震災前に比べ震災時の2011年および翌年の2012年に低減し、男児出生割合が震災前に比べて震災後に低下する可能性が観察された。そして、コホート効果が1967年生まれから1973年生まれのコホート、1987年生まれから1997年生まれのコホートにかけて低減し、男児出生割合が震災後、1967年生まれから1973年生まれの母親の出産、1987年生まれから1997年生まれの母親の出産で低下する可能性が観察された。

考察 男児出生割合の移動平均の年次推移の観察、ベイズ型APC分析の時代効果、コホート効果のトレンドの観察は、いずれも趨勢変化を伴うために、震災が男児出生割合に与える影響を明らかにするためにはさらなる研究が必要である。

キーワード 男児出生割合、震災、心的外傷後ストレス障害、出生コホート、ベイズ型age-period-cohort分析

I 緒 言

日本列島の地理的特徴は、地震活動や火山活動が活発であること、河川が短く急流であること、梅雨や台風時に集中豪雨になりやすいこと、

そして生活圏内に河川、海岸あるいは火山が多いことである¹⁾。そのために、わが国は世界の中でも自然災害の多い国の一つである。災害時には、突然の不幸なできごとによって命の安全が脅かされ、あるいは強い精神的な衝撃を受け

* 1 城西大学大学院薬学研究科医療栄養学専攻教授 * 2 山梨県立大学大学院看護学研究科教授

ることが原因となり、心的外傷後ストレス障害（PTSD）が誘発されやすい²⁾。2011年3月11日にわが国に発生した東日本大震災は、東北地方太平洋沖地震による災害およびこれに伴う福島第一原子力発電所事故による災害であり³⁾、PTSDの発症とこれに伴う脳の形態学的変化との関連も報告されている²⁾。

著者らは、先行研究として、わが国の男児出生割合の年次変動に対する年齢-時代-コホート効果と2008年から2027年の男児出生割合の将来予測を報告した⁴⁾。男児出生割合の動向に対する時代効果およびコホート効果が将来増大トレンドを示すことや男児出生割合は増加する可能性を推測した。しかし、時代が進み2008年以降の男児出生割合の実測値は増加傾向を示さなかった。男児出生割合の低下する要因には、受精後から胎児成長期に曝露された環境汚染物質⁵⁾、不妊治療に使用される排卵誘発剤⁶⁾、栄養状態の不良⁷⁾、妊娠前後の喫煙⁸⁾および過酷な心的ストレス⁹⁾などがある。これらの要因のうち、2011年に発生した東日本大震災により、妊娠前後の女性が心的外傷後ストレスに曝露され、その結果として男児出生割合が増加しなかった可能性が危惧された。

近年、災害等の女性への過酷な心的外傷後ストレスは、男児出生割合の低下、言い換えると出生児の性が女児へと偏ることに寄与することがレビューされている¹⁰⁾。このストレス関連の男児出生割合の低下のメカニズムとして、出産年齢期の女性が災害等の過酷な心的外傷後ストレスに曝露され、その結果、感情的苦悩をトリガーとする糖質コルチコイドの分泌促進を介した経路の存在することが示唆されている。妊娠直前の女性が震災により心的外傷後ストレスの曝露を受けたであろう場合¹¹⁾⁻¹³⁾、あるいは妊娠中の女性がアメリカ同時多発テロ事件¹⁴⁾¹⁵⁾、家族の死や重篤な疾患¹⁶⁾により心的外傷後ストレスの曝露を受けたであろう場合、男児出生割合が低下するという報告がある。これらのことから、東日本大震災においても、妊娠直前あるいは妊娠中の女性が震災による心的外傷後ストレスに曝露された場合、その結果として男児出生

割合が低下した可能性が考えられる。

今日までに、震災による心的外傷後ストレス関連の男児出生割合の低下を示唆する論文が、海外¹²⁾¹³⁾¹⁷⁾および日本¹¹⁾¹⁸⁾¹⁹⁾の震災において報告されている。これらの研究はすべて男児出生割合の推移を観察することにより評価しているが、男児出生割合は、月別あるいは年次別に推移を観察したときに、震災等の変動要因がない期間にもかかわらず、非常に変動する特徴を有する。そのために、男児出生割合の推移の比較、あるいはトレンドの解釈には注意を要する。

著者らは、震災に関する多くの報告が男児出生割合の月別推移あるいは年次別推移のみを観察したものであり、母の年齢の影響や母の出生コホートの影響を考慮していないことに着目した。出生率の動向には、母の年齢の影響、時代の影響およびコホートの影響が大きく関連していること²⁰⁾²¹⁾、そして男児出生割合の動向の背景にもこれらの影響が大きく関与していることをすでに確認している⁴⁾。コホート分析は、時代の変化を伴った社会事象の変化に対して年齢、時代およびコホートの視点から分析する手法であり、男児出生割合の動向に及ぼす震災などの心的外傷後ストレス要因を検討する側面においても有効と考えられた。男児出生割合の年次推移などの一定期間の年齢別の時系列データから、その変動に関連すると考えられる年齢、時代およびコホートの各要因の影響を分離して、各要因の影響の大きさ（言い換えると年齢効果、時代効果、コホート効果）を推定し、各効果のトレンドを観察しやすくする方法の一つにベイズ型年齢・時代・コホート分析（ベイズ型age-period-cohort (APC) 分析）がある²²⁾。ベイズ型APC分析は、死亡率、出生率、男児出生割合および婚姻率などの動向を対象とした年齢、時代およびコホートの影響を解明するために公衆衛生分野の研究に使用され、社会医学上重要な知見を提供している。

本研究は、東日本大震災後に受けたであろう心的外傷後ストレスの影響が男児出生割合の年次推移に影響を及ぼす可能性について、年齢効果、時代効果およびコホート効果のトレンドを

推定することで検討した。

Ⅱ 方 法

(1) 出生数の資料

1947年から2016年の日本の出生数は、人口動態統計から母の年齢別（15～44歳）の性別出生数を得た²³⁾。さらに、1979年以降より都道府県別に出生数が計上されていることから、1979年から2016年の出生数は、人口動態統計から都道府県別に母の年齢別（15～44歳）の性別出生数を得た²³⁾。2011年3月11日に発生した東日本大震災に関するSuzukiら¹⁹⁾の研究を参考に、この震災による死亡者数、不明者数および負傷者数から、PTSDの発症の危険が低かったであろうと考えられた33都道府県（非被災地域）および発症の危険が中等度以上であったであろうと考えられた14都道府県（被災地域）に分類した。被災地域は北海道、青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都および神奈川県¹⁴⁾の14地域であり、この14地域以外の都道府県を非被災地域とした。観察対象となった母のコホートは1937年から1999年の間に生まれた63コホートであり、そのコホート表を表1に示した。この表は、38年間における15～19歳から40～44歳までの6年齢区分の時代進行に伴った年齢進行を示し、表中の数値は同一のコホートの母の出生年（中央年）を示した。

(2) 男児出生割合の年次推移

1979年から2016年までの非被災地域および被災地域の男児出生割合の年次推移は、算出され

た男児出生割合の変動（図中点線）が大きいため、3年の移動平均（以下、移動平均）を用いて平滑化を行い観察した。なお、全地域の男児出生割合は、1947年から2016年までの年次推移を観察した。

(3) 男児出生割合のベイズ型APC分析

ベイズ型APC分析は、男児出生割合の推移に対する年齢効果、時代効果およびコホート効果を観察するために使用された。表1の西暦および年齢階級のように配列された男児出生割合に対して、階層ベイズ型コホートモデル²⁴⁾を用いたベイズ型APC分析により、年齢、時代およびコホートの各要因の影響を分離して各要因の効果を推定した。

本モデルは、年齢効果、時代効果、コホート効果および総平均効果の各パラメータの和として次式のように表される。これらのパラメータの識別性に妥当性を持たせるために、このモデルにゼロ和制約および各パラメータの変化を最小とする漸進的変化の条件を付加して各パラメータを推定し、さらに事後推定値の線形部分を解釈の対象から除外した。

$$\begin{aligned} \eta_{ij} &= \mu + A_i + P_j + C_k, \\ i &= 1, \dots, I; \\ j &= 1, \dots, J; \\ k &= 5 \cdot (I - i) + j \end{aligned} \quad (式)$$

ここで、 μ は総平均効果、 A_i は第*i*年齢階級の年齢効果、 P_j は第*j*時点の時代効果、 C_k は第*k*コホートのコホート効果のパラメータを示す。

分析には、ベイズ型APC分析に特化したBayesian Age-Period-Cohort Modeling and Prediction (BAMP) Version 1.3.0.1²²⁾を使用した。このBAMPは、マルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) 法を利用した解析ソフトウェアである。

単要因モデル (A, P, C)、2要因モデル (AP, AC, PC) および3要因 (APC) モデルの適合度は、デビアンズ値を算出し評価した。本研究では、それらのモデルのうちAPCモデルのデビアンズ値が最小あるいは最小となるモデルのデビアンズ値と

表1 コホート表 (年齢×時代表)

	西 暦											
	1979	1984	1989	1994	1999	2004	2009	2011	2014	2015	2016	
15～19歳	1962	1967	1972	1977	1982	1987	1992	1994	1997	1998	1999	
20～24	1957	1962	1967	1972	1977	1982	1987	1989	1992	1993	1994	
25～29	1952	1957	1962	1967	1972	1977	1982	1984	1987	1988	1989	
30～34	1947	1952	1957	1962	1967	1972	1977	1979	1982	1983	1984	
35～39	1942	1947	1952	1957	1962	1967	1972	1974	1977	1978	1979	
40～44	1937	1942	1947	1952	1957	1962	1967	1969	1972	1973	1974	

注 表中の西暦は、表頭の西暦時に表側の年齢階級に属するコホートのうち中央のコホートの母の出生年を示す。

大差ないことを確認して、APCモデルを採択した。

ベイズ型APC分析の結果は、事後推定値の中央値および95%信用区間(95%CI)により年齢効果、時代効果およびコホート効果のグラフとして表した。グラフのプラス方向への変化は男児出生割合を増大する方向に影響し、一方、マイナス方向への変化は男児出生割合を低減する方向に影響することを表している。また、各効果の中央値のレンジ幅(最大値と最小値の差)は3効果間での相対的な大きさを表し、レンジ幅が大きい効果ほど男児出生割合の変化に対する影響が大きい効果であることを表している。なお、東日本大震災が2011年3月11日に発生したことから、妊娠直前および妊娠中の女性の心的外傷後ストレスの曝露のタイミングを考慮して、時代効果は2009年から2012年までのト

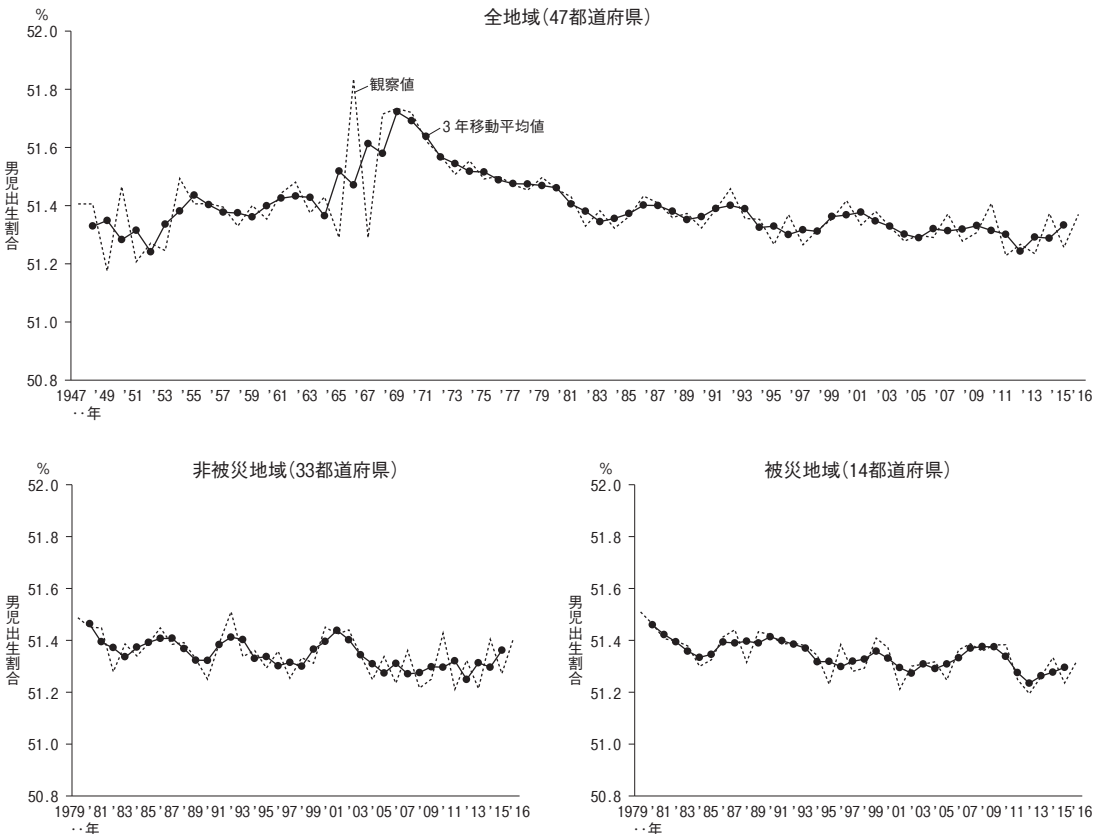
レンドに着目した。同様に、2011年の時点の母の年齢を15歳(出生年は1996年)から44歳(出生年は1967年)、2012年の時点の母の年齢を15歳(出生年は1997年)から44歳(出生年は1968年)に着目し、コホート効果は1967年生まれから1997年生まれのコホートまでのトレンドに着目した。

Ⅲ 結 果

(1) 全地域、非被災地域および被災地域の男児出生割合の年次推移

全地域、非被災地域および被災地域の男児出生割合の年次推移を図1に示す。全地域の47都道府県の男児出生割合は、1966年のひのえうまの年に51.84%および1970年の高度経済成長期に51.72%と大きなピークが観察された。この

図1 全地域、非被災地域および被災地域の男児出生割合の年次推移



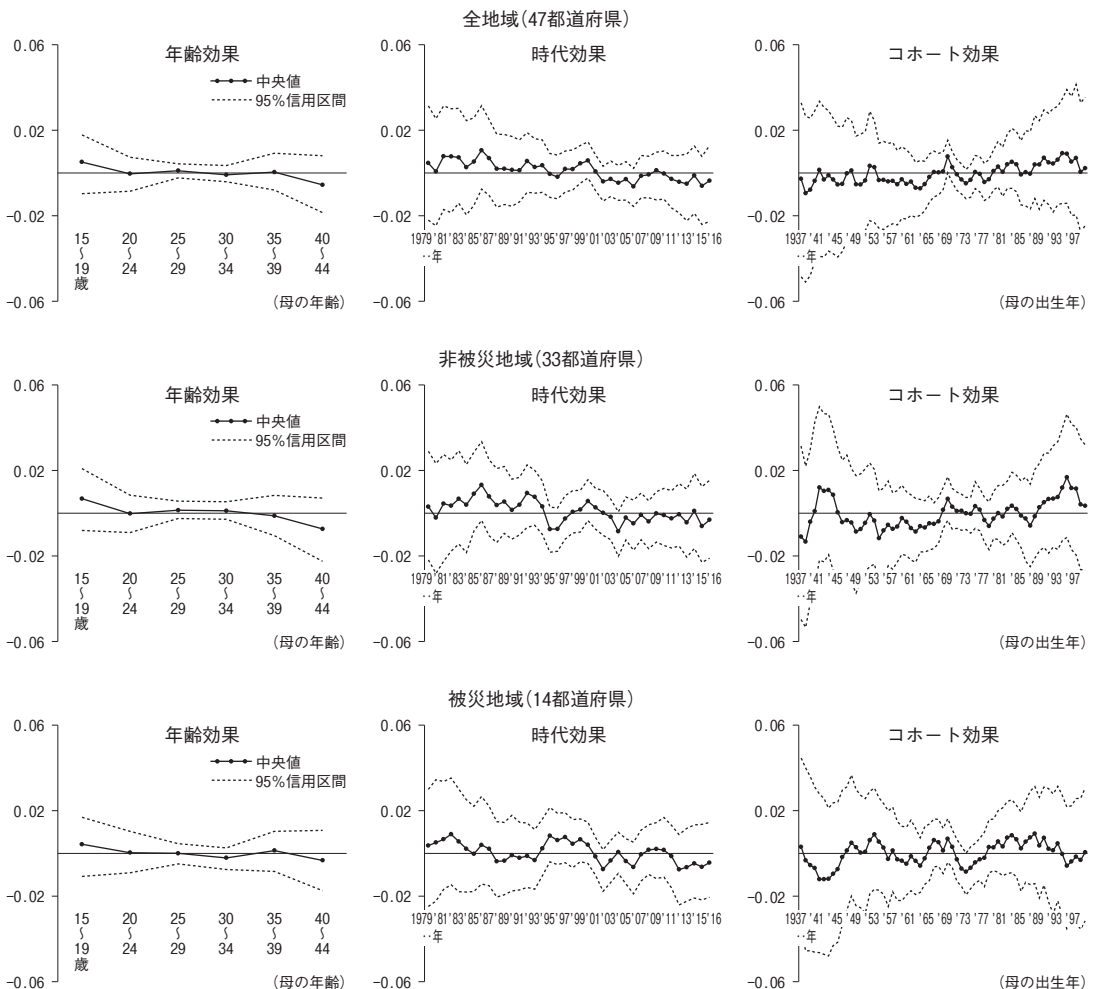
ピークの大きさと比較すると、1970年代以降は、趨勢変化を伴うものの低下傾向であった。全地域の男児出生割合の移動平均は2009年に51.33%、2010年に51.31%、2011年に51.30%および2012年に51.24%と推移していた。非被災地域の33都道府県では、男児出生割合の移動平均が2009年に51.30%、2010年に51.30%、2011年に51.32%および2012年に51.25%と推移していた。被災地域の14都道府県では、男児出生割合の移動平均が2009年に51.37%、2010年に51.34%、2011年に51.28%および2012年に51.23%と推移していた。全地域および被災地域では、2009年および2012年において男児出生割合の低下が認

められ、全地域に比べて被災地域の方はその低下傾向が強かった。

(2) 男児出生割合の動向に対する年齢効果、時代効果およびコホート効果

地域別に1979年から2016年までの男児出生割合の動向に対する年齢効果、時代効果およびコホート効果の事後推定値を求め、それらのグラフを図2に示す。全地域は、年齢効果、時代効果およびコホート効果のうち、年齢効果はレンジ幅0.011と最も小さく、母の年齢15~19歳から20~24歳、35~39歳から40~44歳にかけて低減トレンドを示した。年齢効果に比べて時代効

図2 地域別の男児出生割合の動向に対する年齢効果、時代効果およびコホート効果



果とコホート効果は大きく、それぞれレンジ幅が0.017, 0.019であった。時代効果は2009年から2012年にかけて低減トレンドを示した。コホート効果は1969年生まれから1973年生まれのコホートにかけて低減トレンド、これ以降は変動があるものの1994年生まれのコホートを変化点として増大から低減トレンドを示した。

非被災地域は、年齢効果、時代効果およびコホート効果のうち、年齢効果はレンジ幅0.014と最も小さく、母の年齢15～19歳から20～24歳、35～39歳から40～44歳にかけて低減トレンドを示した。年齢効果に比べて時代効果とコホート効果は大きく、それぞれレンジ幅が0.022, 0.030であった。時代効果は2009年から2012年にかけて横ばいトレンドを示した。コホート効果は1969年生まれから1978年生まれのコホートにかけて低減トレンド、これ以降1983年生まれのコホートを変化点に増大から低減トレンドを示した。1987年生まれのコホート以降は、1995年生まれのコホートを変化点として増大から低減トレンドを示した。

被災地域は、年齢効果、時代効果およびコホート効果のうち、年齢効果はレンジ幅0.008と最も小さく、母の年齢15～19歳から20～24歳、25～29歳から30～34歳、35～39歳から40～44歳にかけて低減トレンドを示した。年齢効果に比べて時代効果とコホート効果は大きく、それぞれレンジ幅が0.016, 0.021であった。時代効果は2009年から2012年にかけて低減トレンドを示した。コホート効果は1969年生まれから1973年生まれのコホートにかけて低減トレンド、これ以降は1983年生まれのコホートまで増大トレンドを示した。1983年生まれ以降のコホートは、変動があるものの1995年生まれのコホートを変化点として低減から増大トレンドを示した。

IV 考 察

先行研究より、わが国の男児出生割合（母の年齢15～44歳）は、1947年に51.41%であったものが以降増加し、ひのえうまの年の1966年に51.84%、高度経済成長期の1970年に51.72%ま

で高値となること、そして、1970年以降は1997年に51.27%まで低下し、2007年に51.37%と再び増加することを報告した⁴⁾。さらに、男児出生割合の動向に対する時代効果およびコホート効果が将来増大トレンドを示し、男児出生割合は将来増加し、1970年代の男児出生割合と同程度までに改善する可能性を予測した。しかし、著者らは、時代が進み2008年以降も男児出生割合の実測値が増加傾向を示さないことを確認した。妊娠前後の女性が心的外傷後ストレスの曝露を受けたであろう場合、男児出生割合が低下する可能性が指摘されている。そのために、東日本大震災の発生により、妊娠直前および妊娠中の女性が心的外傷後ストレスに曝露され、その結果として男児出生割合が低下した可能性が予想された。

複数の論文は、今日までに、震災がストレス関連の男児出生割合の低下を引き起こすことを示唆することを報告している。1999年8月、11月のトルコ東部マルマラ群発地震では、地震発生から4カ月後、そして8カ月後に男児出生割合の低下が観察された¹⁷⁾。1995年1月の阪神淡路大震災¹¹⁾および2009年4月のイタリア共和国中部のラクイラ地震¹³⁾では、この低下が観察されたのが地震発生から9カ月後であった。2003年12月のイラン南部のバム地震では、地震発生から11カ月後であった¹²⁾。2011年3月の東日本大震災では、2007年から2010年に比べて2011年は男児出生割合の低下が観察されたとの報告¹⁸⁾の他に、妊娠初期に地震を経験した女性では男児出生割合の低下が観察されたが、妊娠後期に地震を体験した女性では影響が確認されなかったとの報告がある¹⁹⁾。これらの論文から、妊娠直前および妊娠中の女性の心的外傷後ストレスの曝露は、男児出生割合の低下として震災発生の1年後まで影響すると考えられた。また、東日本大震災は大きな揺れだけでなく、津波さらには原子力発電所事故の影響も伴うので、ストレス曝露の期間が長期にわたると推測された。そこで著者らは、2009年から2012年までの男児出生割合の動向に着目した。

全地域および被災地域では、男児出生割合の

年次推移を移動平均により観察したところ、2009年から2012年にかけて低下が認められ、全地域に比べて被災地域の方はその低下傾向が強かった。しかし、同程度の変化が震災の曝露のない年次にも観察されるために、上記の変化を震災の影響と関係があるとは評価できない。

非被災地域と比較して心的外傷後ストレスの影響が危惧される被災地域は、時代効果が震災前の2009年および2010年に比べ震災時の2011年および翌年の2012年に低減し、男児出生割合が震災前に比べて震災後に低下する可能性が観察された。また、コホート効果は震災の発生した2011年と翌年の2012年に母の年齢が39～44歳であった1967年生まれから1973年生まれのコホート、15～24歳であった1987年生まれから1997年生まれのコホートにかけて低減し、男児出生割合が震災後、1967年から1973年生まれの母親の出産、1987年から1997年生まれの母親の出産で低下する可能性が観察された。なお、2010年以前の時代効果、1966年生まれのコホート以前のコホート効果にも同程度の変化が観察されるために、震災後に受けた心的外傷後ストレスの影響が男児出生割合の変化に影響を及ぼす可能性として評価することには注意を要する。

謝辞

この研究を実施するにあたり、データ入力・加工等にご援助を頂いた伊東順太氏、染谷成美氏に謝意を表します。この研究に関して利益相反はありません。

本論文の内容は、第77回日本公衆衛生学会総会にて発表した内容を改変したものです。

文 献

- 1) 平成23年度第1回人と自然の共生懇談会資料3-1. 環境省自然環境局自然環境計画課生物多様性主流化室. (<https://www.biodic.go.jp/biodiversity/activity/policy/kyosei/23-1/index.html>) 2019.5.25.
- 2) Sekiguchi A, Sugiura M, Taki Y, et al. Brain structural changes as vulnerability factors and acquired signs of post-earthquake stress. *Mol Psychiatry*. 2013; 18(5): 618-23.
- 3) 東日本大震災の被害状況. 平成24年版防災白書. 内閣府. (http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h24/bousai2012/html/honbun/1b_1h_1s_01_00.html) 2019.5.25.
- 4) 内田博之, 渡邊真代, 内記麻帆, 他. わが国の男児出生割合の年次変動に対する年齢-時代-コホート効果と2008年～2027年の男児出生割合の将来予測. *日衛誌*. 2011; 66(3): 582-8.
- 5) Wise LA, Titus-Ernstoff L, Palmer JR, et al. Time to pregnancy and secondary sex ratio in men exposed prenatally to diethylstilbestrol. *Am J Epidemiol*. 2007; 166(7): 765-74.
- 6) James WH. Evidence that mammalian sex ratios at birth are partially controlled by parental hormone levels around the time of conception. *J Endocrinol*. 2008; 198(1): 3-15.
- 7) 大見広規, 広岡憲造, 羽田明, 他. 新生児に関する疫学指標の推移からみた体内環境の問題点. *臨床小児医学*. 2000; 48(1/2): 9-16.
- 8) Parazzini F, Chatenoud L, Maffioletti C, et al. Periconceptional smoking and male : female ratio of newborns. *Eur J Public Health*. 2005; 15(6): 613-4.
- 9) Khashan AS, Mortensen PB, McNamee R, et al. Sex ratio at birth following prenatal maternal exposure to severe life events : a population-based cohort study. *Hum Reprod*. 2009; 24(7): 1754-7.
- 10) Navara KJ. Programming of offspring sex ratios by maternal stress in humans : assessment of physiological mechanisms using a comparative approach. *J Comp Physiol B*. 2010; 180(6): 785-96.
- 11) Fukuda M, Fukuda K, Shimizu T, et al. Decline in sex ratio at birth after Kobe earthquake. *Hum Reprod*. 1998; 13(8): 2321-2.
- 12) Saadat M. Decline in sex ratio at birth after Bam (Kerman Province, Southern Iran) earthquake. *J Biosoc Sci*. 2008; 40(6): 935-7.
- 13) D'Alfonso A, Patacchiola F, Colagrande I, et al. A decrease in sex ratio at birth nine months after the earthquake in L'Aquila. *The Scientific World Journal*. Volume 2012, Article ID 162017, 3 pages.
- 14) Catalano R, Bruckner T, Gould J, et al. Sex ratios

- in California following the terrorist attacks of September 11, 2001. *Hum Reprod.* 2005 ; 20 (5) : 1221-7.
- 15) Catalano R, Bruckner T, Marks AR, et al. Exogenous shocks to the human sex ratio : the case of September 11, 2001 in New York City. *Hum Reprod.* 2006 ; 21 (12) : 3127-31.
- 16) Hansen D, Moller H, Olsen J. Severe periconceptional life events and the sex ratio in offspring : follow up study based on five national registers. *BMJ.* 1999, 319(7209) : 548-9.
- 17) Doğer E, Çakıroğlu Y, Köpük Ş Y, et al. Impact of earthquakes on sex ratio at birth : Eastern Marmara earthquakes. *J Turkish-German Gynecol Assoc.* 2013 ; 14 (2) : 92-7.
- 18) 仲村秀子, 尾島俊之, 中村美詠子, 他. 東日本大震災前後の被災県の出生率・男児出生割合・低出生体重児割合の変化. *東海公衆衛生雑誌.* 2013 ; 1 (1) : 71-5.
- 19) Suzuki K, Yamagata Z, Kawado M, et al. Effects of the Great East Japan Earthquake on secondary sex ratio and perinatal outcomes. *J Epidemiol.* 2016 ; 26 (2) : 76-83.
- 20) 小田切陽一, 内田博之. 日本人女性の出生動向における年齢・時代・世代影響と出生数の将来推計. *厚生指標.* 2007 ; 54(11) : 9-15.
- 21) 内田博之, 小田切陽一, 大竹一男, 他. 日本人女性の婚姻動向における年齢・時代・コホートの効果と出生動向との関連. *日本公衛誌.* 2008 ; 55 (7) : 440-8.
- 22) Schmid VJ, Held L. Bayesian age-period-cohort modeling and prediction - BAMP. *J Stat Soft.* 2007 ; 21 (8) : 1-15.
- 23) 人口動態統計 昭和54年～平成28年. 厚生(労働)省政策統括官統計・情報政策担当編. 一般財団法人厚生労働統計協会.
- 24) Knorr-Held L, Rainer E. Projections of lung cancer mortality in West Germany : a case study in Bayesian prediction. *Biostat.* 2001 ; 2 (1) : 109-29.