

別添 4

令和3年度厚生労働科学研究費補助金
(循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業)
(分担)研究報告書

放射線汚染に対する母親の精神的ストレスが子どもの出生時体重と
出生後の健康アウトカムに与える影響について
— 東日本大震災における福島原子力発電所事故の事例から —

研究分担者 富蓉 早稲田大学 商学大学院
研究代表者 野口晴子 早稲田大学 政治経済学大学院

研究要旨

本研究では、国勢調査と人口動態調査・出生票という、代表性のある2つの大規模調査を用いて、放射線汚染(被曝)に対する母親の精神的ストレスが、出生時体重、及び、出生から5年後の子どもの健康に及ぼす影響について実証的な検証を行う。私たちの知る限り、本研究は、「被曝」に代表されるような、無形で不確実なリスク要因による母親のストレスが子どもの健康に与える影響を、因果推論の手法を用いて検証した初めての研究である。

本研究では、2011年の東日本大震災に際して発生した福島第一原子力発電所事故から280日以内に出産予定日を迎える全乳幼児に焦点を当て、疑似実験的なセッティングを行い、分析を行った。

結果、被曝に対する母親の精神的ストレスは、出生時体重を30g減少させ、2,500g未満の低体重出生と早産のリスクをそれぞれ19%と38%増加させることがわかった。こうした影響は、母親が低学歴であり、乳幼児をかかえている場合、また、父親が農業に従事している場合に、顕著な影響が見られた。更に、母親の正確な情報収集能力がストレス緩和のために重要であること、食品汚染が放射線に対する恐怖や不安の主な原因であることが明らかになった。こうした結果は、例えば、COVID-19のような感染性ウイルス等の無形のリスク要因による母親のストレスが子どもの健康に及ぼす影響について、間接的ながらも重要な示唆を与えるかもしれない。

A. 研究目的

本研究は、放射線汚染(被曝)に対する母親の精神的ストレスが、出生時体重、及び、出生から5年後の子どもの健康に及ぼす影響について実証的な検証を行う。本研究では、2011年の東日本大震災に際して発生した福島第一原子力発電所事故から280日以内に

出産予定日を迎える全乳幼児に焦点を当て、疑似実験的なセッティングを行い、分析を行った。原子力発電所事故は、その特性において、これまでの先行研究に記載されているストレス要因を凌駕するものであった。一般的に選択バイアスと関連する自己申告のストレス要因(例えば、家族関係の断絶、虐待、失業)と

は異なり、原子力発電所の事故は自然災害やテロリズムのように外生的に発生する要因である(Douglas et al.). 他方、自然災害やテロリズムが有形で測定可能な物理的な損害をもたらすことが多いのに対して、原子力発電所の事故がもたらす放射線被曝は無形で不確実であり、直ちにその損失が把握しにくい。つまり、原子力発電所の事故は、直接被害を受けなかった人々も含め、自然災害やテロリズムよりも、はるかに広範囲の人々に恐怖や不安を与える可能性が高い(Huizink et al., 2007). したがって、先行研究では、自然災害やテロリズム等の場合、母体へのストレスが直接被害を受けたことによる物理的損害からくるストレスと、直接被害は受けなかったが、それに起因する間接的な精神的ストレスとの識別に困難があったのに対し、放射線被曝については、目に見えない恐怖や不安からもたらされる、母体の精神的ストレスの判別が比較的容易である。

本研究では、いわゆる、小標本問題(small sample problem)を克服するため、国勢調査と人口動態調査・出生票という、代表性のある2つの大規模調査を突合して用いる。津波による物理的被害に起因するストレスや放射線による被曝の影響と、放射線被曝による「恐怖や不安」の影響を区別するため、津波で被災した自治体や年間1ミリシーベルト以上の放射線量を受けた自治体を、分析から除外した。疑似実験的なセッティングにより、福島第一原子力発電所事故から280日以内に出産予定日を迎える子どもの出生時、及び、5年後の健康状態に着目する。この狭い帯域の妊婦に対して、事故がランダムに発生したことを様々な検定で確認する。出生前と出生後を比較するために、出生前モデルと出生後モデルを用い、更に、差分の差分法(difference-in-

differences: 以下, DID)を用いて、出生前と出生後の差が恐怖や不安の強度により異なるかどうかについて検証を行う。更に、出生前における放射線に対する恐怖や不安のトリメスタ一別の影響について、その異質性(heterogeneity)と潜在的なメカニズムについても検証を行う。最後に、結果の頑健性(robustness)を確認する。

B. 研究方法

本研究で使用するデータセットは、まず、大規模行政管理情報である、人口動態調査・出生票、及び、2015年と2010年の国勢調査を突合させて構築したデータである。出生票では、日本で生まれた全新生児の出生児体重を把握し、そして、国勢調査からは、新生児の親と世帯の特徴を抽出する。第1に、2010年6月から2011年12月の間に生まれた子どもを持つ世帯(以下、新生児世帯)を、2015年国勢調査から抽出する。第2に、抽出した新生児世帯を、2010年の世帯居住情報、新生児の親の生年月日、新生児が世帯の第1子でない場合は、新生児の兄姉の生年月日と性別を用い、2010年国勢調査で個別に特定する。最後に、2010年の世帯の居住情報、新生児の生年月日、性別、両親の生年月日を使って、特定された新生児世帯を出生票と突合させる。突合された新生児数は、684,548人であった。

東日本大震災では、死亡や被災の大半が、地震による津波に起因するものであった。自然災害と出産時アウトカムに関する先行研究によれば、津波に起因する母親のストレスが出産時アウトカムの悪化につながる可能性がある(Currie & Rossin-Slater, 2013; Torche, 2011). この交絡因子を最小化するために、日本地質学会の報告書(Ishikawa, 2011)に基づ

き、津波で直接的な被害を受けた自治体については、分析から除外する。

もう1つは、放射線被曝に対する「恐怖や不安」ではなく、直接的な被曝の健康への影響が交絡因子となる可能性である。福島第一原子力発電所事故後、放射能の健康への影響は殆ど認められなかったが、放射能による胎児への障害の可能性が懸念される。この交絡因子を最小化するため、原子力規制委員会の月別降下量データを用い、2011年3月から2012年4月までの年間積算線量が1ミリシーベルト以上の都道府県のデータを特定し、分析から除外する。尚、本研究では、セシウム137とセシウム134の1ヶ月あたりの最大値を月単位とし、それを年単位に積算している。

津波被害を受けた市区町村や年間1ミリシーベルト以上の放射線量の市区町村に居住する妊産婦を除くと、分析対象となる母子の標本数は566,170であった。出生時における健康アウトカムとしては、出生時体重(g)、低出生体重児(LBW:2500g未満)、及び、早産(早産:37週未満)の3つの指標を用いる。

更に、本研究では、これらの新生児が2歳と5歳になった時の健康状態を追跡する。そのために、2013年と2016年の「国民生活基礎調査(以下、CSLC)」によって、これらの新生児を特定する。CSLCは、代表性の極めて高い、厚生労働省が3年ごとに実施している調査で、直近の国勢調査の調査地点を用いてサンプリングを行っている。したがって、2013年のCSLCは2010年の国勢調査に、2016年のCSLCは2015年の国勢調査にそれぞれ確率的に突合が可能で、両者を前段で構築したデータに確率的に突合することにより、2歳時点では2,662人、5歳時点では3,092人を追跡可能となった。CSLCでは、6歳未満

の子どもの保護者に、子どもに健康上の問題(発熱等)があるかどうか、また、診断(喘息等)のために定期的に病院を受診しているかどうかを調査している。これらの指標を用いて、新生児が2歳と5歳になった時の健康状態を評価する。福島第一原子力発電所からの距離が近ければ近い程、母親が意図しない放射線被害を懸念している可能性が高い。そこで、福島第一原子力発電所からの距離に応じて市区町村を3つのエリアに分け、恐怖や不安の度合いを測定したのがFigure1である。本研究では、妊娠中、福島第一原子力発電所から250キロメートル以内の市区町村に住む妊婦は放射線に対する強い不安や恐怖を、250-400キロメートルの市区町村に住む妊婦は中程度の不安や恐怖を感じているが、400キロメートル以上の市区町村に住む妊婦の不安や恐怖は比較的弱いとした。不安や恐怖が強い地域と弱い地域という分類は、東日本の住民が被曝に対して最も不安や恐怖を感じており、大阪の住民はあまり感じていないという先行研究と整合的であった(館野・横山, 2013)。したがって、中程度の不安や恐怖があるとした地域を除外変数とすれば、線量による不安や恐怖の影響を把握することが出来るかもしれない。

先行研究に従い、本研究では、出生後に放射線の不安や恐怖に晒された新生児を、出生前に晒された新生児に対する比較対照群として設定する(Currie et al., 2020; Persson & Rossin-Slater, 2018)。つまり、ここでは、妊婦が妊娠中か、または、出産直後に福島第一原子力発電所事故を経験した母親と新生児のペアを、下記のように設定する。

$$S = \{i: \mathbf{1}[c \leq \text{Accident} < e_b]_i = 1 \mid \mathbf{1}[e_b \leq \text{Accident} \leq e_b + 280]_i = 1\},$$

上記の式で、 c は新生児の受胎日、 e_b は出生予定日を表す。受胎日は実際の生年月日から妊娠日数を引くことで導き出される。出産予定日は受胎日から280日(40週)後と定義される($e_b = c + 280$)。したがって、 $1[c \leq \text{Accident} < e_b]_i = 1$ は、事故が期待妊娠期間中に発生し、新生児が出生前に放射線の恐怖に晒されたことを示し、 $1[e_b \leq \text{Accident} \leq e_b + 280]_i = 1$ は、事故が出産予定日から280日以内に起こり、新生児が生後間もなく放射線の不安や恐怖に晒されることを示している。ここで注目すべきは、実際の生年月日ではなく、予想される生年月日を用いることで、後者は事故と内生的な関係にある。一方、予想される生年月日は事故が発生した時点であらかじめ決まっている。各 $i \in \{S\}$ について、以下のモデルを推定する。

$$y_{imc} = \beta_0 + \beta_1 1[c \leq \text{Accident} < e_b]_{imc} + \lambda_m + \lambda_c + \mathbf{x}'_i \boldsymbol{\tau} + \epsilon_{imc},$$

$1[c \leq \text{Accident} < e_b]_{imc}$ は、新生児が出生前に放射線の不安や恐怖に晒された場合は1、そうでない場合は0をとる変数である。したがって、 β_1 は胎内における放射線に対する不安や恐怖の健康への影響を捉えていることになる。 λ_m と λ_c はそれぞれ自治体と受胎月の固定効果であり、潜在的な地理的・季節的変動を統制している(Buckles & Hungerman, 2013)¹。 \mathbf{x}_i は、母親と父親の受胎時年齢(年)、2010年の学歴(高校未満、専門学校、大学以上)等、福島第一原子力発電所に先決する所与の共変量のベクトルである。更に、 \mathbf{x}_i には、2010年の住居形態(一戸建て、マンション)

ン)、住居階(5階以下、6-10階、11階以上)、居住年数(1年未満、1-5年、5年以上)等の住居特性が含まれる。これらの住居特性は、地震の影響に関する可能性のある変動を考慮している。 \mathbf{x}_i は、性別や分娩数(1番目、2番目、3番目)といった新生児の特性や、性別と分娩数の間の完全な交互作用も含んでいる。ロバスト標準誤差は、2010年の妊産婦の居住地の自治体でクラスタリングされている。

C. 研究結果

C-1. 記述統計量

Table1は、基本統計量を示している。コラム(1)は分析対象とした標本全体の統計、コラム(2)と(3)はそれぞれ出生前と出生後のグループについての統計である。コラム(4)-(6)は、分析対象とした新生児と同時期に出生した子どもについて、本研究で用いたデータから関連する統計を抽出して示した結果である。

パネルAでは、平均出生体重は3,030gで、低体重児が7.6%、早産児が4.2%であることがわかる。パネルBでは、新生児の24.6%と18.3%が2歳時にそれぞれ何らかの健康上の問題(症状)があり、定期的に外来を受診しているが、5歳時には、それが18.4%と17.0%に減少する傾向にあることがわかる。全体として、出生前グループは、出生後のグループよりも、2歳と5歳になった時の健康状態が悪い傾向にある。パネルA後半とパネルC、Dは、新生児、親、住居の特徴を示しており、統計値は出生前群と出生後群で違いはない。更に、コラム(4)-(6)に示した同時期に出生した新生児と比較すると、本研究の分析対象となった新生児では、平均出生体重がやや重く、LBWと早産の尤度が

¹ We account for prefecture fixed effect in place of the municipality fixed effect when estimating the health effects at ages two and five due to small sample sizes.

やや低くなっている。また親の属性については、同時期に出生した新生児の親よりも若干年齢が高いことを除けば、その他の属性に違いはない。

C-2. 回帰分析による推定結果

Table2 のパネル A, B, C はそれぞれ、母親の胎内での放射線に対する不安や恐怖が、平均出生時体重、低体重児出産の確率、早産の確率に及ぼす影響を示したものである。コラム(1)は出生前と出生後のモデルの推定値を、コラム(2)、及び、(3)はそれぞれ、不安や恐怖が中程度、ないしは、弱かった地域全体と強かった地域を比較した場合、そして、各地域を個別に検証した DID の推定値を示している。そして、コラム(4)は、不安や恐怖の連続尺度を用いた DID モデルの推定値を示している。

パネル A の結果からは、胎内に子どもがいる母親が放射線に対する不安や恐怖に晒された場合、出生時体重が大幅な減少を示している。具体的には、胎内で放射線への不安や恐怖に曝された新生児は、出産予定日後 280 日以内に晒された新生児よりも約 30g 軽い。この影響の大きさは、不安や恐怖の強度に対するばらつきを考慮しても一定である。連続的な不安や恐怖の指標を用いた場合の影響の大きさは、福島第一原子力発電所から最短距離の地域に住む母親から生まれた新生児への影響を示しているため、他の指標よりも大きい。また、DID モデルでは、不安や恐怖が強い地域の新生児は、他の地域に比べ 4 g、弱い地域の新生児よりも 6 g 軽いことがわかった。一方、中程度と弱い地域を比較しても、出生時体重に統計学的に有意な差はない。連続的な不安や恐怖指標を用いた DID でも、福島第一原子力発電所からの距離が遠くなるにつれて、出生時体重の減少が減少する傾向が見られるが、その大きさ

は統計学的に有意ではない。パネル B と C は、胎内で放射線の不安や恐怖に晒された新生児では、低体重児と早産の可能性がそれぞれ 1.5 と 1.6%ポイント(pp)増加することを示している。この大きさは、全ての推定モデルで一貫しており、標本平均値でそれぞれ 19%と 38%の増加に相当する。出生時体重の影響とは対照的に、LBW と早産のリスクの増加は、不安や恐怖の強度による違いはなかった。

本研究が得たこうした結果は、胎内に子どもをかかえた母親を感じる精神的ストレスは、出産時のアウトカムに負の影響を与えることを示すという、これまでの研究と一致している。出生時体重の 30g 減少は、自然災害やテロ攻撃によって母親のストレスが誘発された場合に文献で報告されている大きさの下限である(Camacho, 2008; Hugo De Oliveira et al, 2021; Torche, 2011)。一方、その影響の大きさは、母親のストレスが家族の断絶等のライフイベントによって引き起こされる場合に見られるものよりも大きい(Black et al., 2016; Persson & Rossin-Slater, 2018)。これは、これらのストレスの要因の違い起因している可能性がある。自然災害やテロリズム等の物理的被害とは異なり、放射線による被曝は無形で曖昧であるため、妊産婦の精神的ショックが短期的に急激な影響は与えないのかもしれない。一方、放射線被曝に対する不安や恐怖は、ライフイベントによるストレスよりも後遺症が長期化する傾向があり、出産時アウトカムに、より顕著な影響を与える。更に、先行研究に報告されている自然災害やテロリズム等の出産時アウトカムへの深刻な影響は、母親の精神的ストレスを、これらに起因する物理的な被害の影響から切り離すことが困難なためと考えられるが、本研究では、胎内での放射線に対する不安や恐怖を、交絡因子から慎重に分離している。最後に、自然災害やテロリズム等によるスト

レスとは異なり、母親の放射線に対する不安や恐怖は、日本全国の出産時アウトカムに影響を及ぼし、不安や恐怖の強度の異質性はあまりないことが確認された。

D. 考察/E. 結論

近年、多様な要因に着目し、母親の精神的ストレスが、世代を超えて子どもの健康に影響するということを検証する研究が増えつつある。しかし、他方で、無形で不確実、かつ、損失が曖昧なリスク因子による母親の精神的ストレスの影響については未だ殆ど知見が得られていない。本研究は、東日本大震災に起因する福島第一原子力発電所の事故による、母親の胎内での放射線に対する不安や恐怖の広範な拡大が、無形のリスク要因となり、出生時、及び、5年後の子どもの健康に及ぼす影響について、因果推論に基づく検証を行った最初の研究であるという点で画期的である。

本研究では、代表性の極めて高い国勢調査と人口動態調査・出生票を突合し、出生時アウトカムのみならず、親の多様な属性を含む独自のデータセットを構築した。津波で物理的な被害を受けた市区町村に住んでいた、実際に放射線被爆を受けたりした、母親から生まれた子どもは分析対象から除外し、被爆に対する「不安や恐怖」以外の潜在的な要因を排除した。そのために、ここでは、2つの識別手法を用いた。1つ目は、出産予定日が事故から280日以内の子どもに焦点を当て、胎内被曝者と出生後被曝者を比較する方法である。2つ目は、不安や恐怖の強度によって、出生前-出生後のアウトカムの違いを検証するやり方である。分析結果、胎内に子どもをかかえた母親の放射線に対する不安や恐怖は、出生時体重を減少させ、低体重児と早産のリスクを増加させることがわかった。また、こ

の影響は、不安や恐怖の強度によって若干違いはあるものの、放射線に対する不安や恐怖は事故現場からの距離に関係なく、全国の妊婦にほぼ同程度の影響を与えることがわかった。また、子どもの健康への悪影響は一時的なものであり、5歳までには影響が薄れること、その影響は、妊娠第1期以降に被曝することによって発生し、妊娠期間を通じて、不安や恐怖の累積的影響が出ている可能性があること、幼児を持つ母親や農業に従事する父親から生まれた子どもへの影響が大きいことから、食物汚染が放射線恐怖の主な原因であることも分かった。最後に、高学歴の母親と専門職の父親の間に生まれた子どもは出生前における放射線に対する不安や恐怖の影響を受けにくいことから、無形のリスク要因に直面した場合、親の正確な情報収集や把握能力の重要性が示唆される。

本研究には、データの制約による限界がある。CSLCは、6歳以上のみを調査対象としているため、胎内にいる時に、被爆による不安や恐怖に母親が晒された子どもの精神衛生や認知機能を評価することが出来ない。また、本来であれば、より長期間の健康アウトカムについて検証すべきところではあるが、利用可能な最新の調査が2016年のCSLCであるため、そうすることが難しい。したがって、出生前に母親が被爆に対する不安や恐怖を感じた場合の長期的な健康や認知機能に対する影響については、今後、更なる検証が必要である。更に、異常な状態や分娩の合併症などの出生アウトカムは、人口動態調査・出生票に記録が存在しないため、評価することが出来ない。最後に、福島第一原子力発電所の事故が出生時アウトカムに影響を与える経路(メカニズム)についてである。もし、新生児と母親の医療情報等を調査することが出来れ

ば、出生時の健康への影響について、そのメカニズムをより明確化出来るかもしれない。

本研究で得られた知見から、ひよっとすると、現状、政策立案者は、何らかの要因に起因する母親の不安や恐怖、つまり、新生児に対する無形、かつ、不確実なリスク要因の厚生コストを過小評価している可能性がある。なぜなら、本研究は、そのコストには、それらのリスクによる直接的・物理的な損害だけでなく、リスクに対する不安や恐怖も含まれることを実証しているからである。過去2年間、世界中が晒された COVID-19 のような感染性ウイルスによる母親のストレスが原因で、世代を超えて、子どもたちの健康が損なわれるようなことがあれば、将来、様々な厚生損失が発生しかねない。また、本研究では、親の教育水準が、不安や恐怖の影響を軽減する可能性が示唆されたことから、正確かつ時機を得た情報共有が、無形で不確実なリスクの厚生損失に対する重要な解決策になりうることを強調しておこう。これは、とりわけ、人的資本の蓄積が乏しい親にとっては極めて有益であり、外生ショックによる世代を超えたな不利益の継承を防ぐのに貢献するだろう。

F. 健康危険情報

特に無し。

G. 研究発表

1. 論文発表

特に無し。

2. 学会発表

October/15-16/2022: “In utero exposure to radiation fear and birth outcomes: evidence from Fukushima nuclear power plant accident”. 日本経済学会 2022 年度秋季大会 (予定・未採択)

January/6-8/2023: “In utero exposure to radiation fear and birth outcomes: evidence from Fukushima nuclear power plant accident”. ASSA 2023 Annual Meeting of American Economic Association(予定・未採択)

H. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む)

1. 特許取得

特に無し。

2. 実用新案登録

特に無し。

3. その他

特に無し。

Table 1. Basic Statistics

	Sample for Estimation			Population Data		
	The primary dataset (1)	Prenatal (2)	Postnatal (3)	All Births (4)	CSLC (5)	Census 2010 (6)
Panel A: Birth Outcomes						
Birth weight (g)	3030.118 (407.109)	3027.114 (412.846)	3034.387 (398.775)	3025.475 (433.817)		
LBW (<2,500g)	0.076	0.078	0.074	0.080		
Preterm (< 37 weeks)	0.042	0.045	0.037	0.042		
Parity						
First	0.469	0.458	0.481	0.489		
Second	0.389	0.390	0.388	0.377		
Third	0.142	0.152	0.131	0.134		
Male newborn	0.512	0.512	0.512	0.512		
Panel B: Health at Age Two and Five						
Any symptoms (Age Two)	0.246	0.263	0.218		0.221	
Outpatient visit (Age Two)	0.183	0.197	0.160		0.161	
Any symptoms (Age Five)	0.184	0.191	0.178		0.180	
Outpatient visit (Age Five)	0.170	0.171	0.169		0.171	
Panel C: Parent Characteristics						
Mother's age at conception	31.310 (4.441)	31.035 (4.361)	31.003 (4.534)	30.456 (5.032)		
Father's age at conception	33.091 (5.249)	33.031 (5.192)	32.984 (5.313)	32.432 (5.769)		
Mother's education						
High school	0.309	0.309	0.310			0.301
Vocational school	0.365	0.365	0.364			0.347
University and above	0.255	0.255	0.255			0.266
Father's education						
High school	0.364	0.363	0.364			0.355
Vocational school	0.145	0.146	0.145			0.140
University and above	0.418	0.418	0.419			0.420
Panel D: Residence Characteristics						
Residence						
House	0.425	0.426	0.423			0.412
Apartment	0.574	0.572	0.576			0.586
Floor of Residence						
F1-F5	0.854	0.859	0.849			0.831
F6-F10	0.091	0.090	0.091			0.099
F11+	0.055	0.051	0.060			0.070
Residence period						
Less than one year	0.228	0.230	0.226			0.229
One-five years	0.527	0.526	0.529			0.528
More than five years	0.245	0.244	0.245			0.244
N	566,170	332,331	233,839	1,887,741	19,700	984,528

Table 2. Impacts of in Utero Radiation Fear on Birth Outcomes

	Prenatal vs Postnatal		Difference-in-Difference					
	(1)		(2)		(3)	(4)		
Panel A: Birth Weight								
In-utero	-29.9703 (1.5706)	***	-29.0241 (1.6656)	***	-28.3828 (1.7741)	***	-41.3734 (12.1635)	***
In-utero × Fear								
High			-4.1174 (2.4296)	*	-6.1809 (2.8322)	**		
Moderate					-4.0566 (2.5904)			
In-utero × log(Distance)							1.855 (1.655)	
Mean	3030.118		3030.118		3030.118		3030.118	
N	548,533		548,533		548,533		548,533	
Panel B: LBW								
In-utero	0.0149 (0.0010)	***	0.0147 (0.0011)	***	0.0147 (0.0011)	***	0.0166 (0.0080)	**
In-utero × Fear								
High			0.0003 (0.0017)		0.0017 (0.0020)			
Moderate					0.0000 (0.0017)			
In-utero × log(Distance)							-0.0003 (0.0013)	
Mean	0.0762		0.0762		0.0762		0.0762	
N	548,533		548,533		548,533		548,533	
Panel C: Preterm								
In-utero	0.0160 (0.0008)	***	0.0160 (0.0008)	***	0.0159 (0.0009)	***	0.0174 (0.0061)	***
In-utero × Fear								
High			0.0001 (0.0014)		0.0007 (0.0017)			
Moderate					-0.0002 (0.0014)			
In-utero × log(Distance)							-0.0004 (0.0010)	
Mean	0.0419		0.0419		0.0419		0.0419	
N	548,533		548,533		548,533		548,533	

Notes: Each column in each panel is a separate regression. Column (1) presents estimates for equation (2), columns (2)-(3) for equation (3); column (4) for equation (4). “In-utero” corresponds to $I[c \leq \text{Accident} < e_b]_{\text{imc}} = 1$. All regressions control for municipality fixed effect, conception month fixed effect, mother’s and father’s age at conception in years and education in 2010, residential characteristics in 2010, and neonatal characteristics. Robust standard errors are clustered on expectant mothers’ municipality of residence in 2010. Statistical inference: * $p < 0.1$ ** $p < 0.05$ *** $p < 0.01$

Distance (km) to the Fukushima Nuclear Power Plant

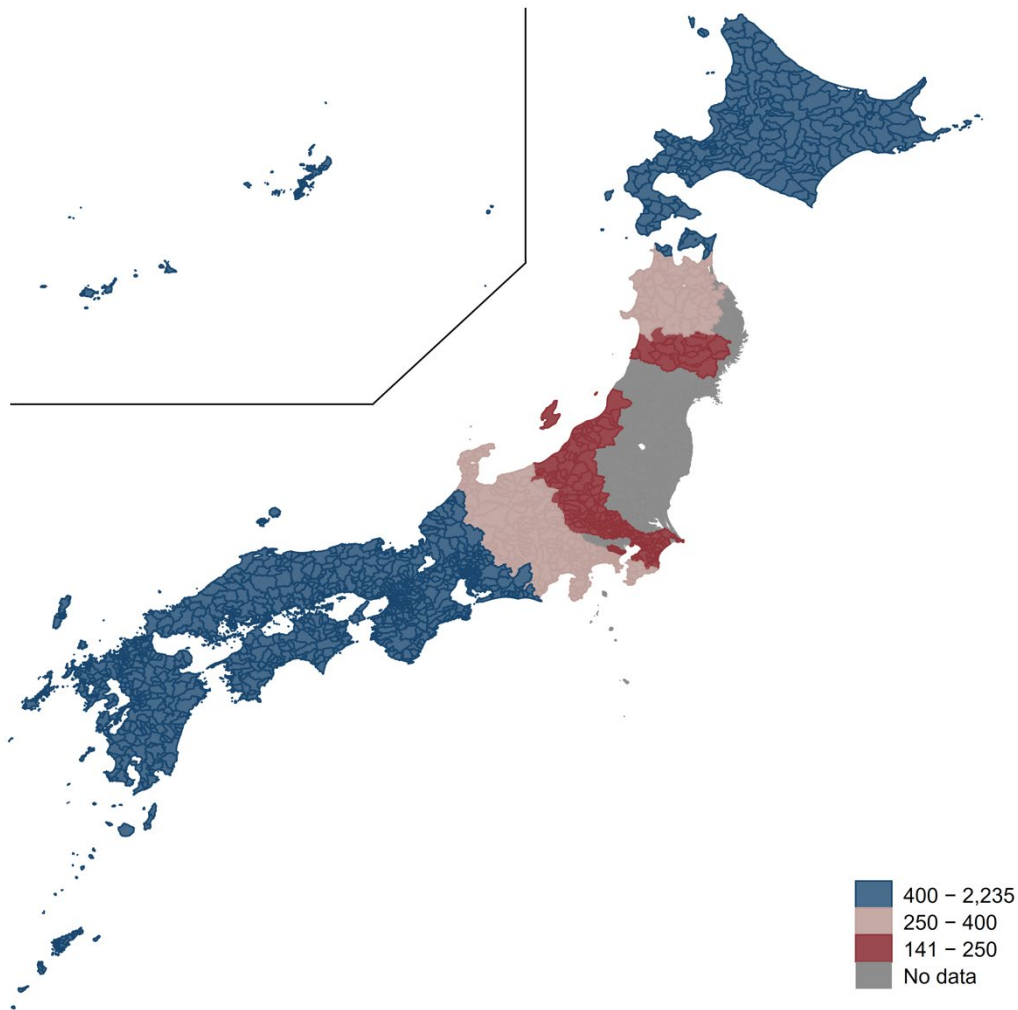


Figure 1. Data Exclusion and Areas with Different Fear Levels

Notes: The municipalities with "no data" are those for which data are excluded for estimation. These municipalities were either damaged by the tsunami or had an annual radiation dose over one millisievert. Details about these municipalities are in Appendix A. The red area corresponds to the high-fear area, with distances to Fukushima NPP ranging from 141 km to 250 km. The pink area corresponds to the moderate-fear area, with a distance range of 250 km to 400 km. With a distance greater than 400 km, the blue area corresponds to the low-fear area.