

〔研究論文〕

# 平成30年2月の大雪が地域の 鉱工業生産に与えた影響

松 岡 孝 恭

この度の災害により亡くなられた方に対して心からご冥福をお祈りいたします。  
また被災された方に対してお見舞い申し上げます。それから困難な状況のなかで  
人命救助活動や除雪活動に尽力された方々に対して感謝申し上げます。

## 1 はじめに

2018年2月5日の午後、著者は福井駅に向かう特急しらさぎに乗っていた。16時頃、ダイヤ通りなら通過するはずの今庄駅でしらさぎは停車した。駅のホームから積もった雪が列車の窓の高さまで迫っていた。停車後しばらくすると、敦賀駅に向かう普通列車が雪をかかえて動けなくなったため、普通列車の乗客を救済するというアナウンスがあり、その後、たくさんの高校生が教科書や参考書の入った鞆を持って乗り込んできた。17時前に福井駅に着き、改札を出ると手書きの掲示板の前には大勢の人が立っていた。掲示板は大阪方面と名古屋方面への特急がその日の最終列車まで運転休止となることを知らせていた。23時頃、自宅（福井市）の外に出て吹雪いている雪を見た。市内で降る普段の雪とは質感の異なる、さらさらとした砂のような雪だった。

5日の深夜から6日の朝にかけて福井県北部と石川県西部に降った猛烈な雪は、数日間にかけて地域の交通網を寸断し、あらゆる交通機関を機能不全にした。国道8号線では石川県加賀市から福井県福井市までの区間で最大1,500台

もの車両が立ち往生となった<sup>1)</sup>。福井県の西川一誠知事は6日14時、陸上自衛隊に人命救助等に関わる災害派遣を要請。自衛隊は地域の警察、消防と連携しながら、ドライバーの救出や食料等配布、給油支援、ならびに除雪支援などを行った<sup>2)</sup>。国道8号線に限らず、福井市内の主要な道路では数日にわたり大渋滞が発生した。住宅街の路地では降り積もった雪のために車を出すことができず、多くの人々は出社がままならない状況に置かれた。

日刊工業新聞（2018）は、最深積雪をもたらした2月7日時点での福井県と石川県の主要製造企業の操業状況を次のように伝えている。福井県ではフクビ化学工業（福井市）、松浦機械製作所（福井市）、エイチアンドエフ（あわら市）、村田製作所（越前市、福井市）、ソディック（坂井市）など主要な製造企業で休業ないし操業停止となった。パナソニックはあわら市、福井市、坂井市にある3工場を2月6日から2日連続で操業停止にした。小野薬品工業（坂井市）では社員の自宅待機措置がとられた。日華化学（福井市、鯖江市）と前田工織（坂井市、県内4工場）では一部の業務や操業を行うものの、社員の多くは出社できない状態で業務時間を短縮し

たり、出荷業務を停止したりせざるを得なかった。

石川県では大同工業（加賀市）が7日、全社休業の措置をとり、石川県内の3工場すべてで生産を停止した。ソディック（加賀市）は6日から営業を休止した。操業できた企業でも福井県の状況と同様に、材料の受け入れが滞ったり（高松機械工業、白山市）、出社できない社員が出たりした（石川製作所、白山市）。スマートフォン向けディスプレイなどを生産するジャパンディスプレイ（川北町、白山市）でも従業員が出社困難となり、生産が計画比で7割程度となった。

本稿では、このような形で大雪が地域の経済活動にもたらした影響の大きさを計測することを目的とする。この目的のために因果推論のアプローチ<sup>3)</sup>を使い、因果関係の定量的な評価を行う。本稿で扱う最も重要な問題は「2018年2月の大雪が地域の製造業の生産活動に与えた影響はどの程度か」という問いであり、具体的には以下の2つである。

・大雪は2018年2月の福井県と石川県の鉱工業生産指数<sup>4)</sup>を何%変化させたか

・大雪により発生した鉱工業生産指数の変化分を金銭評価<sup>5)</sup>すると何円になるか

この問題の重要性は2点ある。第1に、今回の災害が社会に与えた影響を記録するという点である。災害時の記録の重要性については改めて述べるまでもない。記録に際しては本稿の冒頭、第1段落に書いたような体験談だけではなく、統計データを使って客観的に測定された証拠（エビデンス）の形で記録することが大切であると考え。後者の形で災害の様子を記録することにより、今回の災害の損失額を他の災害の損失額と比較したり、「県民経済計算」の付加価値額や県の財政規模などと比較したりでき

るようになる。その比較分析については他稿に譲るが、本稿で推計された損失額は2018年2月に福井県と石川県の製造企業が直面した苦境を示す証拠となっている。

第2に、政策的な議論のための基礎資料となる点である。福井県では大雪による災害で大きな損失を被った。特に、除雪・排雪費用が150億円（県内17市町で112億7千万円、県だけで41億円）を超え、92億7千万円分を市町が補正予算で組むなどの対応に迫られた<sup>6)</sup>。ここから言えることは災害の損失額の評価が地方自治体の政策（対策費の算定や財源の確保）にとって不可欠であるということである。災害に備えるという意味では事前に損失額を査定できればよいが、その推計にはさまざまな困難が伴う。本研究は災害が起きてからの事後評価であるが、将来、今回と同じような条件で同じ地域に大雪が発生した場合に、考慮すべき経済的損失額の見積もりを提供することになる。

本稿のテーマに関連する先行研究として因果推論の方法論に関する文献は数多く存在する。分析に利用した「介入グループでの平均介入効果（TET）」や「差分の差（DID）」という概念は因果推論のためのスタンダードな方法論であり、心理学や経済学、疫学などの幅広い分野で利用されている<sup>7)</sup>。しかし、テーマを2018年2月の大雪による社会経済的な影響に限定すると、分析は十分に蓄積されていないという印象がある。例外として挙げられるのは、福井商工会議所（2018）が2月15日から19日にかけて行った会員企業に対するアンケート調査<sup>8)</sup>である。

大雪の被害に関する情報としては、福井県のホームページ<sup>9)</sup>に災害への対応の様子を記録した数多くの文書がある他、地域のテレビ局や新聞などで大雪に関して報道された内容などがある。本稿執筆時点の5月から6月にかけては、多額の除雪費により福井県と福井市の財政

が逼迫している問題に関連して報道が頻繁になされた。とりわけ、福井市では除雪費が当初予算の10倍となる50億円（2018年度決算見込み）にのぼり、国の特別交付税や市の災害対策基金、財政調整基金などで補てんしても、17年度の収支が約3億円の赤字になる見通しとなった。このため福井市は職員の給与を10%、9か月間削減するという方針を出した<sup>10)</sup>。職員労働組合は反対したが、6月上旬に給与削減率平均5.8%、7月から9カ月の削減という内容で市と労組は合意した<sup>11)</sup>。

これまでのところ大雪の被害については、上に述べたような除雪費やビニールハウスの修繕費などのように実際にかかった被害額での議論や報道が中心となっている。ここでは大雪に伴い発生した費用や損壊した物的資本の価値がいわば「目に見える」形で評価されている。言い換えれば、これらの被害額は「観察されている」。

しかし、失われた経済的価値はそれだけではない。県内の生産や消費支出、企業の収益や費用、それから市場で取引されない「雪かき」のような労働コストに至るまで、大雪によって失われたと考えられる様々な価値が評価されないままになっている。こうした経済的価値の損失は除雪費のように目に見える形で示すことが難しい。なぜなら、損失額を測るベースとなる経済的価値の大きさは大雪があってもなくても常に変動しているからである。もし大雪による生産への影響を計測したい場合、目に見えている生産額だけでは、それが大雪の影響なのか、例年通りの変動の範囲なのかを識別できない。それゆえ、大雪による損失額の推計も不正確なものとなる<sup>12)</sup>。そこで本稿ではルービンの因果推論のアプローチを使い、観察されない数量を推定することで損失額の測定を行う。直観的に言えば、もし大雪がなかったとしたら得られたはずの経済的な価値を推測し、その値を実際に観察された価値の大きさと比較して、それらの

差を被害額として推定する。

本稿で扱う問題に対して因果推論のアプローチが適切である理由は、分析対象において原因となる変数と結果となる変数が明確に特定される点にある。大雪を降らせた気象条件は経済的価値の変動とは独立に決まる。もし大雪と経済的価値との間に何らかの関係があるとすれば、大雪が経済に対して一方的に影響を与えていると考えられる。言い換えると、大雪が降るというイベントは経済変動に対して外生的である。このような条件下では単純な計量経済学のモデルから得られる推定値であっても、明確な因果関係の含意を持つ<sup>13)</sup>。

本研究では大雪という自然による介入<sup>14)</sup>を因果関係の識別に利用している。この意味で本研究は自然実験を使った観察研究である。分析には鉱工業生産指数や「工業統計調査」の都道府県別データを使用した。著者はこれらの値を通して経済を受動的に観察しているだけであり、介入を行ったわけではない。しかし、自然が人間では及ばないような力で、経済活動の基礎的条件といえる人や物の移動を数日間にわたって止めたという事実を踏まえれば、2018年2月の都道府県別のデータには大雪の影響を受けた後の経済活動の結果が記録されているはずである。そして、大雪の影響を受けたと考えられる福井県と石川県の2県（介入グループ）と大雪の影響を受けていない他の45都道府県（対照グループ）との間に、両グループが持っている属性や時間的変動の違いを除去した上で、それでもなお有意な差があるとすれば、その差は大雪を原因として発生した差であると推測できるはずである。

推計によって得られた数値は生産活動を表す数量指数の成長率が大雪によって何%変わったか、という意味を持つ。本研究ではこの数量指数の変化分を金銭評価することを試みている。月次で観察される都道府県別のデータで生産額

を表す変数が利用可能でないため、生産額の変動を求めるにはいくつかの仮定を置く必要がある。ここでは指数論における価値<sup>15)</sup>と数量の関係式を使い、数量指数である鉱工業生産指数の変化分に対応する価値を推定する。推計のために置いた仮定については妥当性を十分チェックしたが、推計された月次の生産額の系列には指数推計に伴うバイアス<sup>16)</sup>が含まれていると考えられる。そのため、本稿の結果で特に金銭評価された推計値を利用する際は、この値が本研究で置いたいくつかの仮定に基づくことと指数算式上必然的に発生するバイアスが含まれることに注意する必要がある。

本稿の結果の概要は次のとおりである。大雪は2018年2月の福井県と石川県の鉱工業生産指数の成長率を有意に9.7%引き下げる効果をもっていたと推定される。この因果効果として得られた数量指数の変化分をいくつかの仮定に基づいて金銭評価すると、2018年2月の1ヶ月間に付加価値額ベースで福井県の製造業の生産活動に対し79億円の損失、石川県では87億円の損失が発生したと推定される。企業による中間消費を含めた出荷額ベースでは福井県で215億円の損失、石川県では262億円の損失が発生したと推定される。

論文の構成は次のとおりである。第2節では、因果推論のための方法である差分の差(DID)とその推定量 $\delta$ を定義し、大雪の因果効果として得られる推定量 $\delta$ を金額評価するための方法を説明する。第3節はデータ、第4節は結果、第5節は含意、第6節では結論を述べる。

## 2 方法

### 2.1 介入グループと対照グループ

第1節で述べたように、本研究は自然実験を利用した受動的な観察に基づく観察研究である。自然実験のアプローチはWooldridge (2002)

が述べているように、「偶然により人々(企業、市町など)が介入グループに入ってしまう」<sup>17)</sup>ことを利用して、因果推論を行うアプローチである。ある個体が偶然に介入グループに入るようなイベントとして、自然による介入や制度変更などがあるが、どの場合であっても結果となる変数とは独立にグループの割り当てがなされるという点が重要である。

自然実験の分析では、研究者が研究対象に介入して原因となる変数を実験的に割り当てるわけではないので、自然実験の介入によってどの個体が介入グループに入ったと言えるのか十分議論する必要がある。結論から言えば、自然による介入は福井県と石川県を介入グループに、その他の45都道府県を対照グループに割り当てたという前提で分析を進める。この前提は2018年2月6日からの数日間に福井県や石川県に居て大雪を目の当たりにした人々にとっては自明のように思えるかもしれない。しかし、グループ割り当ての前提をチェックすることは、大雪の影響の範囲と規模を再検討することにつながるので、ここで改めて大雪の様子を記述しておきたい。

福井県と石川県を介入グループに含める理由は2つある。第1に、2018年2月4日から8日にかけての気象条件である。2月3日から8日にかけて北陸地方の上空5,000m付近で氷点下30度以下の寒気が流れ込み、強い冬型の気圧配置となった<sup>18)</sup>。5日深夜から6日午前中にかけて降り積もった雪は、福井県と石川県で気象データの極値更新をもたらす猛烈な雪であった。福井県では6日の日降水量が61.5mmとなり、2月としての極値更新となった<sup>19)</sup>。武生では積雪差日合計が47cmとなり、統計開始以来の極値更新となった<sup>20)</sup>。石川県では6日、加賀菅谷と白山河内で積雪差日合計がそれぞれ79cm、74cmとなり、統計開始以来の極値更新となった<sup>21)</sup>。7日は多くの観測地点で積雪量のピーク

となり、この最深積雪の数値は全国のニュースで報じられた。福井県では福井で147cm(15時)、武生で111cm(22時)、大野で169cm(17時)となった<sup>22)</sup>。石川県では加賀菅谷で197cm(6時)、白山河内で194cm(22時)、金沢で87cm(22時)となった<sup>23)</sup>。以上は観測地点での記録だが、福井県北部と石川県西部では広い範囲で100cm以上の積雪となった<sup>24)</sup>。

第2に、交通への障害である。2月3日からの強い寒気は日本海側の広い範囲に及んでいるので、気象条件だけで考えると、富山県や新潟県、それから東北地方や北海道も大きな影響が出た地域として介入グループに含まれる。しかし、交通機関や道路状況への甚大な障害が発生したという点で、福井県と石川県は他の地域と区別されうると考える<sup>25)</sup>。第1節冒頭で述べたように大雪の影響により2月6日から2月9日にわたり、国道8号線と北陸道では車両の立ち往生が発生し、甚大な被害をもたらした。これを受けて防衛省は福井県知事の要請により人命救助等に関わる自衛隊の災害派遣を行った(2月6日から2月10日まで)。この間自衛隊により救出された車両はおおよそ1,190台、配布された食料等はおおよそ6,750食にのぼる<sup>26)</sup>。国土交通省は災害対策基本法76条の6に基づく車両等の移動措置を実施したが、その区間は福井県北部と石川県西部にまたがるものであった<sup>27)</sup>。またこの実施区間とはほぼ同じエリアに相当する北陸道では代替路(無料)措置が取られた<sup>28)</sup>。

以上で述べたように、本研究では気象条件に加え、大雪により発生した交通への甚大な障害を理由に、自然による介入は福井県と石川県の介入グループ、それ以外の45都道府県を対照グループに割り当てたと仮定して分析を進める。

## 2.2 因果効果と差分の差

本節<sup>29)</sup>では自然実験の分析手法である差分

の差(DID)とその推定量 $\delta$ を定義する。差分の差(DID)は結果を表す変数の期待値について、介入前後の差分とグループ間の差分を求め、さらに2つの差分の差をとることによって求められる。本研究において介入前後の差は2018年1月と2018年2月の時点間での比較を行うことによって得られ、グループ間の差分は介入グループ(福井県と石川県)と対照グループ(他の都道府県)の比較によって得られる。

### 2.2.1 観察された結果と観察されない結果

添え字 $t$ を時間を表すインデックス( $t=2018$ 年1月, 2018年2月)、添え字 $i$ を都道府県を表すインデックス( $i=1, 2, \dots, 47$ )とする。差分の差を定義する際、介入の前後に対応して値が変わるダミー変数と介入の有無に対応して値が変わるダミー変数を定義する必要がある。本研究では前者を「2月ダミー  $Feb^t$ 」とし、以下のように定義する。

$$Feb^t = \begin{cases} 1 & (2018年2月の場合) \\ 0 & (2018年1月の場合) \end{cases}$$

そして後者を「大雪ダミー  $Snow_i$ 」とし、以下のように定義する。

$$Snow_i = \begin{cases} 1 & (福井県または石川県の場合) \\ 0 & (他の都道府県の場合) \end{cases}$$

次に、因果関係の結果のほうを表す変数を「結果変数  $Y_i^t$ 」と定義する。本研究では大雪との因果関係を調べたいと思っている生産指数(成長率)が結果変数となる。結果変数  $Y_i^t$  は2018年1月の結果と2月の結果を取りうるので、2月ダミー  $Feb^t$  を使って以下のように定義できる。

$$\begin{aligned} Y_i^t &= \begin{cases} Y_i^{Feb} & (Feb^t=1のとき) \\ Y_i^{Jan} & (Feb^t=0のとき) \end{cases} \\ &= Y_i^{Jan} + (Y_i^{Feb} - Y_i^{Jan}) \cdot Feb^t \end{aligned} \quad (1)$$

さらに、2月の結果変数  $Y_i^{Feb}$  は、 $Feb^t=1$  の下で、介入の有無によって2通りの結果を取り

うるので、大雪ダミー  $Snow_i$  を使って以下の  
ように書ける。

$$Y_i^{Feb} = \begin{cases} Y_{1i}^{Feb} & (Snow_i=1 \text{ のとき}) \\ Y_{0i}^{Feb} & (Snow_i=0 \text{ のとき}) \end{cases} \\ = Y_{0i}^{Feb} + (Y_{1i}^{Feb} - Y_{0i}^{Feb}) \cdot Snow_i \quad (2)$$

(1) 式の  $Y_i^{Feb}$  に (2) 式を代入すると、結果変数  $Y_i^t$  の取りうるすべての結果は次のような1本の式で表すことができる。

$$Y_i^t = Y_i^{Jan} + (Y_{0i}^{Feb} - Y_i^{Jan}) \cdot Feb^t \\ + (Y_{1i}^{Feb} - Y_{0i}^{Feb}) \cdot Snow_i \cdot Feb^t \quad (3)$$

(3) 式に従うと、2月ダミーと大雪ダミーの実現値に応じて結果変数  $Y_i^t$  は3通りの結果を取りうる。それは以下に示すように、介入前の1月の結果  $Y_i^{Jan}$ 、介入後の2月に介入グループで取る結果  $Y_{1i}^{Feb}$  と対照グループで取る結果  $Y_{0i}^{Feb}$  の3通りである。

$$Y_i^t = \begin{cases} Y_i^{Jan} & (Feb^t=0 \text{ のとき}) \\ Y_{1i}^{Feb} & (Feb^t=1, Snow_i=1 \text{ のとき}) \\ Y_{0i}^{Feb} & (Feb^t=1, Snow_i=0 \text{ のとき}) \end{cases} \quad (4)$$

因果推論では観察された結果と観察されない潜在的な結果を比較することで因果効果を測定する。表1に2つの結果を表現する方法をまとめている。観察されるか否かを区別するためにこれ以上新しい変数を定義する必要はなく、ここまでで定義した変数を使って両者を区別することができる。例えば、表1の2列目

にある2月の結果変数  $Y_{0i}^{Feb}$  は対照グループにおける観察された結果変数であるが、表の3列目に移ると、介入グループの観察されない結果変数となっている。つまり、 $Y_{0i}^{Feb}$  は  $Feb^t=1$  かつ  $Snow_i=0$  を満たす都道府県  $i$  の下では観察されるが、 $Feb^t=1$  かつ  $Snow_i=1$  となる都道府県  $i$  では観察されない。例えば、もし2018年2月に福井県と石川県で大雪が降らなかったとした場合に得られる結果は、 $Feb^t=1$  かつ  $Snow_i=1$  の下での潜在的な結果  $Y_{1i}^{Feb}$  という形で表現される。

表2に本稿のデータによる例を示す。「観察された結果変数」を表す2列は2018年1月と2月の鉱工業生産指数の成長率<sup>30)</sup>である。その隣の「観察されない潜在的結果」を示す2列は、2月の観察された結果変数の値を介入の有無により介入グループと対照グループとで割り振って得られる。列中で「—」となっている欄はその都道府県について変数の値が観察できず、データが欠損となることを示している。欠損のパターンをみると、同じ都道府県について大雪による介入がある場合の結果とない場合の結果を両方同時に観測できないことがわかる<sup>31)</sup>。例えば、大雪の影響が顕著であった福井県と石川県では大雪がなかったとした場合の結果  $Y_{0i}^{Feb}$  が観察できず、残りの都道府県では逆に大雪があったとした場合の結果  $Y_{1i}^{Feb}$  を観察することができない。このように介入グループでの欠損と対照グループでの欠損は対称的な関係にあるが、次節

表1 観察された結果変数と潜在的な結果変数

ダミー変数の実現値	観察された結果	観察されない潜在的結果
$Feb^t=0$	$Y_i^t = Y_i^{Jan}$	—
$Feb^t=1, Snow_i=1$	$Y_i^t = Y_{1i}^{Feb}$	$Y_{0i}^{Feb}$
$Feb^t=1, Snow_i=0$	$Y_i^t = Y_{0i}^{Feb}$	$Y_{1i}^{Feb}$

星野・田中（2016）を参考に作成。

表2 観察されない潜在的結果とデータの欠損の関係

$i$	都道府県	観察された結果変数		観察されない潜在的結果	
		$Y_i^{Jan}$	$Y_i^{Feb}$	$Y_{1i}^{Feb}$	$Y_{0i}^{Feb}$
⋮					
15	新潟県	-0.0534	0.0031	—	0.0031
16	富山県	-0.0430	0.0094	—	0.0094
17	石川県	-0.0405	-0.0347	-0.0347	—
18	福井県	0.0142	-0.0715	-0.0715	—
19	山梨県	-0.0553	0.0087	—	0.0087
20	長野県	-0.0325	0.0208	—	0.0208
⋮					

$Y_i^{Jan}$  と  $Y_i^{Feb}$  はそれぞれ 2018 年 1 月と 2018 年 2 月における鉱工業生産指数の成長率（前月比、季節調整済）。観察されない潜在的結果の 2 つの列で「—」となっている箇所はデータが欠損していることを表す。都道府県の左側の列にあるインデックス  $i$  の値は県局番号である。出典：「地域別鉱工業指数」ほか。

で述べる因果効果はこのうち介入グループに着目し、もし介入がなかったとした場合に得られる仮想的な結果（右端の列の 2 つの欠損データ）を推測する。

### 2.2.2 差分の差 (DID)

本節では因果効果と差分の差 (DID) の関係を述べる。本研究で測定する対象となる因果効果は「介入グループ（福井県と石川県）での平均介入効果 (TET)」<sup>32)</sup> で、以下のように定義される。

$$TET = E(Y_{1i}^{Feb} - Y_{0i}^{Feb} | Snow_i = 1) \quad (5)$$

この式の右辺において条件付き期待値の条件部分が  $Snow_i = 1$  となっていることに注目すると、これは介入グループ（福井県と石川県）で観察された変数  $Y_{1i}^{Feb}$  と観察されない潜在的な変数  $Y_{0i}^{Feb}$  の差（の期待値）を取ることを意味する。表 1 に示したように  $Y_{0i}^{Feb}$  は  $Snow_i = 1$  の下で観察できないので、この値を推定するには何らかの仮定が必要となる。

TET を測定するための手段となる差分の差 (DID) は次のように定義される。

$$\begin{aligned} DID = & \{E(Y_i^t | Feb^t = 1, Snow_i = 1) \\ & - E(Y_i^t | Feb^t = 0, Snow_i = 1)\} \\ & - \{E(Y_i^t | Feb^t = 1, Snow_i = 0) \\ & - E(Y_i^t | Feb^t = 0, Snow_i = 0)\} \quad (6) \end{aligned}$$

右辺の第 1 項と第 2 項は条件部分が  $Snow_i = 1$  となっているので、それぞれ介入グループの 2 月と 1 月の結果変数の期待値を表す。第 3 項と第 4 項は条件部分が  $Snow_i = 0$  となっているので、それぞれ対照グループの 2 月と 1 月の結果変数の期待値である。(4) 式を使って結果変数を書き換えると、(6) 式は以下になる。

$$\begin{aligned} DID = & E(Y_{1i}^{Feb} - Y_i^{Jan} | Snow_i = 1) \\ & - E(Y_{0i}^{Feb} - Y_i^{Jan} | Snow_i = 0) \quad (7) \end{aligned}$$

右辺第 1 項は介入グループについて 2 月の観察された結果と 1 月の結果の差について期待値を取ったものであり、第 2 項は同じことを対照グループについて求めたものである。DID を構成する 2 つの条件付き期待値はともに観察されたデータを使って測定できる。さらに、DID は以下に示す「平行トレンドの仮定」<sup>33)</sup>

の下で求めたい因果効果  $TET$  と等しくなる。

$$\begin{aligned} E(Y_{0i}^{Feb} - Y_i^{Jan} | Snow_i = 1) \\ = E(Y_{0i}^{Feb} - Y_i^{Jan} | Snow_i = 0) \end{aligned} \quad (8)$$

(8) 式の左辺は、福井県と石川県でもし大雪が降らなかった場合に得られたはずの2月と1月の結果変数の差（の期待値）であり、データから測定できない。右辺は他の都道府県で観察された2月と1月の結果変数の差（の期待値）であり、これはデータから測定できる。(8) 式はもし大雪がなかった場合に福井県と石川県で得られたはず生産量の1月から2月にかけての推移（左辺）は、平均的に見て他の都道府県で同じ期間に観察された生産量の推移（右辺）に等しくなるという仮定である。この仮定の下では、測定できない左辺の値に測定できる右辺の値を代入できることを意味する。

平行トレンドの仮定の下で  $DID = TET$  となることは次のように証明できる<sup>34)</sup>。(7) 式の右辺から  $E(Y_{0i}^{Feb} - Y_i^{Jan} | Snow_i = 1)$  を引き、同時に加えると、

$$\begin{aligned} DID &= E(Y_{1i}^{Feb} - Y_i^{Jan} | Snow_i = 1) \\ &\quad - E(Y_{0i}^{Feb} - Y_i^{Jan} | Snow_i = 1) \\ &\quad + E(Y_{0i}^{Feb} - Y_i^{Jan} | Snow_i = 1) \\ &\quad - E(Y_{0i}^{Feb} - Y_i^{Jan} | Snow_i = 0) \end{aligned} \quad (9)$$

(8) 式の下では (9) 式の右辺の第3項と第4項が相殺される。したがって

$$\begin{aligned} DID &= E(Y_{1i}^{Feb} - Y_i^{Jan} | Snow_i = 1) \\ &\quad - E(Y_{0i}^{Feb} - Y_i^{Jan} | Snow_i = 1) \\ &= E(Y_{1i}^{Feb} - Y_{0i}^{Feb} | Snow_i = 1) \\ &= TET \end{aligned} \quad (10)$$

このように差分の差 (DID) は平行トレンドの仮定の下で、大雪の介入を受けた福井県と石川県での平均介入効果 (TET) と一致することが示せた。

### 2.2.3 差分の差推定量 $\delta$

前節の議論で示した DID は理論値である。本節ではこの理論的な対象をデータを使って測定するための推計モデルを議論する。DID を推計するためのモデルは次のように示せる。

$$Y_i^t = \alpha + \beta Feb^t + \gamma Snow_i + \delta (Feb^t \cdot Snow_i) + \epsilon_i^t \quad (11)$$

ここで DID に対応する回帰モデルのパラメータ（母数）は右辺第4項にある係数  $\delta$  であり、これが差分の差推定量と呼ばれる。この推定量  $\delta$  は回帰モデル (OLS) の標準的な仮定の下で、DID という理論的概念に一致する。その仮定は差分の差推定量  $\delta$  を使って因果関係の推論を行うための誤差項  $\epsilon_i^t$  に関する条件であり、以下のように示せる<sup>35)</sup>。

$$E[\epsilon_i^t | Feb^t, Snow_i] = 0 \quad (12)$$

(12) 式が満たされるとき、(11) 式の結果変数  $Y_i^t$  の条件付き期待値は  $Feb^t$  と  $Snow_i$  の実現値の4通りの組み合わせに対して以下のように表せる。

$$\begin{aligned} E[Y_i^t | Feb^t = 1, Snow_i = 1] &= \alpha + \beta + \gamma + \delta \\ E[Y_i^t | Feb^t = 0, Snow_i = 1] &= \alpha + \gamma \\ E[Y_i^t | Feb^t = 1, Snow_i = 0] &= \alpha + \beta \\ E[Y_i^t | Feb^t = 0, Snow_i = 0] &= \alpha \end{aligned}$$

以上の4つの条件付き期待値を (6) 式に代入すると、次のようになる。

$$\begin{aligned} DID &= \{(\alpha + \beta + \gamma + \delta) - (\alpha + \gamma)\} \\ &\quad - \{(\alpha + \beta) - \alpha\} \\ &= (\beta + \delta) - \beta \\ &= \delta \end{aligned} \quad (13)$$

さらに平行トレンドの仮定の下で (10) 式が成立する場合、次のように書ける。

$$TET = DID = \delta \quad (14)$$



以上の議論をまとめると、平行トレンドの仮定 (8) 式と誤差項の仮定 (12) 式が成り立つとき、介入グループ（福井県と石川県）での平均介入効果（TET）は差分の差推定量 $\delta$ を使って正しく測定できることが示せた。

#### 2.2.4 共変量

(8) 式または (12) 式が成立しない場合、推定量 $\delta$ はTETに対してバイアスを持つ。その理由として、結果となる変数（従属変数）にも原因となる変数（独立変数）にも共通して影響を与えるような変数の存在がある。このような変数を共変量といい、本稿では $X_i^t$ と表す。共変量の存在がなぜ因果推論において問題になるかというと、調べたい原因のほかに何か理由があって個体が介入か対照のグループに入っている、もしくは入る確率が高くなっていることを意味するからである。この下で2つのグループの特性値を比較しても調べたい原因の正味の因果効果は測れず、共変量の影響により因果効果の推定量 $\delta$ はバイアスを持つ。そこで、もしデータのなかで共変量として調整ができそうな変数があれば、推定量 $\delta$ で正しく因果効果を計測できるように出来る限り調整することが望まれる。この調整を行う場合、推計モデルは (11) 式に共変量 $X_i^t$ を加えた以下の式で表される。

$$Y_i^t = \alpha + \beta Feb^t + \gamma Snow_i + \delta (Feb^t \cdot Snow_i) + \zeta X_i^t + \epsilon_i^t \quad (15)$$

このとき誤差項の仮定は以下のように変わる。

$$E[\epsilon_i^t | Feb^t, Snow_i, X_i^t] = 0 \quad (16)$$

この誤差項の仮定は (12) 式で誤差項の期待値が0にならない場合、すなわち、結果変数 $Y_i^t$ から2月ダミー $Feb^t$ と大雪ダミー $Snow_i$ で説明できる変動分を除去しても除去しきれていない変動分ある場合、共変量 $X_i^t$ で調整を行うこ

とで誤差項の期待値を0にできるという意味である。一方の平行トレンドの仮定は以下のように変わる。

$$\begin{aligned} E(Y_{0i}^{Feb} - Y_i^{Jan} | Snow_i = 1, X_i^t) \\ = E(Y_{0i}^{Feb} - Y_i^{Jan} | Snow_i = 0, X_i^t) \end{aligned} \quad (17)$$

これは介入グループでもし介入がないとした場合の仮想的な結果の推移（左辺）が、両辺で同じ共変量 $X_i^t$ を使って条件付けることによって、対照グループでの観察された結果の推移（右辺）に等しくなるという意味である。本研究で共変量調整に使用した変数については3.3節で述べる。

#### 2.3 金銭評価

本研究では鉱工業生産指数の成長率を結果変数として使う。このため、結論は「大雪は介入グループの生産指数の成長率に対して何%の変化をもたらした」という内容になる。生産指数の成長率は意味のある測定対象であり、毎月公表される「鉱工業指数」の結果でも季節調整済みの前月比成長率という形で報告されている。しかし、因果効果として得られた生産指数の変化分が何%であるということがわかったとしても、この数値がどの程度のインパクトを持つのか、直観的に分かりにくい<sup>36)</sup>。もし「県民経済計算」や「工業統計調査」などにある付加価値額や出荷額が結果変数であれば、貨幣価値を単位として測られた因果効果が出てくるが、都道府県レベルの生産額を月次で観測している変数は利用可能ではない<sup>37)</sup>。そこで本稿では、いくつかの仮定を置いて因果効果として得られた生産指数の変化を金額に換算する。

##### 2.3.1 測定したい対象と観察している対象

本節では名目の貨幣価値を単位として測定したい対象と結果変数として観察している対象との関係を明らかにする。測定したい対象

は製造業全体の生産額で、中間消費を除いた付加価値額ないし中間消費を含んだ出荷額である。いま  $p^t = [p_1^t, \dots, p_n^t]$  を  $t$  時点の価格ベクトル、 $q^t = [q_1^t, \dots, q_n^t]$  を数量ベクトルとする。測定したい対象である時点  $t$  の生産額は以下のように表される。

$$V_t = \sum_{j=1}^n p_j^t q_j^t \quad (t = 0, 1, 2, \dots) \quad (18)$$

これは価格と数量を掛けて求められる価値をすべての財  $j$  ( $j=1, \dots, n$ ) に関して集計したものである。本稿ではこれを「集計された価値 (value aggregate)」<sup>38)</sup> と呼ぶ。国内総生産 (GDP) や県内総生産といった生産額や家計消費などは集計された価値であり、非常に単純化すれば (18) 式の形で表現することができる。一方、観察している対象は鉱工業生産指数 (水準) であり、以下のように表される。

$$Q_L(p^0, p^t, q^0, q^t) = \frac{\sum_{j=1}^n p_j^0 q_j^t}{\sum_{j=1}^n p_j^0 q_j^0} \quad (19)$$

右辺において  $p_j^0$  が分母と分子に出てくることに注目されたい。鉱工業生産指数はラスパイレス型の数量指数であり、基準時の生産量  $q^0$  から比較時の生産量  $q^t$  への変化が基準時の価格  $p^0$  を固定したうえで評価される。

集計された価値  $V_t$  とラスパイレス型の数量指数  $Q_L(\cdot)$  は「フィッシャーの弱い意味での要素逆転テスト (Fisher's weak factor reversal test)」<sup>39)</sup> によって関連付けることができる。これは集計された価値の2時点間の変化が物価指数と数量指数の変動に分解されるという関係式であり、以下のように示される。

$$\frac{V_t}{V_0} = P(p^0, p^t, q^0, q^t) \cdot Q(p^0, p^t, q^0, q^t) \quad (20)$$

集計された価値として例えば国内総生産 (GDP) を考えると、この関係式はマクロ経済

学で習う名目 GDP と実質 GDP の関係式に他ならない<sup>40)</sup>。数量指数が (19) 式のようにラスパイレス型で特定されているとき、(20) 式を満たすような物価指数を求めると、以下のようなパーシェ型の物価指数となる。

$$P_P(p^0, p^t, q^0, q^t) = \frac{\sum_{j=1}^n p_j^t q_j^t}{\sum_{j=1}^n p_j^0 q_j^t} \quad (21)$$

パーシェ型の物価指数は上の式にあるように、基準時の価格  $p^0$  から比較時の価格  $p^t$  への変化が比較時の数量  $q^t$  で評価される。

測定したい対象  $V_t$  を求めるには、(20) 式の両辺に  $V_0$  を掛けて得られる以下の式を評価すればよい。

$$V_t = V_0 \cdot P_P(p^0, p^t, q^0, q^t) \cdot Q_L(p^0, p^t, q^0, q^t) \quad (22)$$

すなわち、基準時の集計された価値  $V_0$  とパーシェ型の物価指数  $P_P(\cdot)$ 、それからラスパイレス型の数量指数  $Q_L(\cdot)$  を特定すれば、比較時の集計された価値  $V_t$  を求めることができる。

### 2.3.2 物価指数に関する仮定

ここで (22) 式の推計に使うデータについてあらかじめ述べておきたい。数量指数  $Q_L(\cdot)$  は2010年基準の鉱工業生産指数を使う。次に、基準時点の製造業部門の生産額  $V_0$  は、「工業統計調査 (産業編)」の2010年における都道府県別の付加価値額または出荷額 (従業員4人以上の事業所) を使う。「工業統計調査」のこれらの変数は鉱工業生産指数のウェイトを求めるための原データとなっており、両者の概念は整合的である。物価指数  $P_P$  は日本銀行が編纂している「連鎖方式による国内企業物価指数」を使う<sup>41)</sup>。2015年基準企業物価指数の国内需要財ウェイトをみると、鉱工業生産指数がカバーしている工業製品と鉱産物で約9割を占める<sup>42)</sup>。また、企業物価指数のウェイトは鉱工業生産

指数のウェイト算出に使われる「工業統計調査（品目編）」を主な原データとして使っている<sup>43)</sup>。物価指数と数量指数の推計に使うこれら2つのデータも概念的に整合していると言えるだろう。

以上に述べたデータと(22)式によって大雪の因果効果を金銭評価する際、考慮すべき点が3つ出てくる。第1に、大雪により福井県と石川県で製造業部門の取引価格に大きな変化があったかどうかという問題である。もし大雪を原因として顕著な価格変化があったとすると、大雪がなかった場合の仮想的な生産額と実際に観察された生産額は異なる価格のもとで評価しなければならなくなる。しかし、物価の硬直性、とりわけ製造業部門の取引価格に関する硬直性を考えると、このような可能性は低かったのではないかと考える。企業の価格設定行動に関するアンケート調査をまとめた日本銀行調査統計局（2000）によれば、製造業部門において回答企業の半数以上が価格改定の頻度を年に1、2回と答えている<sup>44)</sup>。仮に大雪が企業の利潤最大化条件に合わない状況を作り出したとしても、それに対して2月中に価格による調整で対応することは難しかったはずである。

第2に、物価指数として使う「企業物価指数」は全国平均の推計である一方、数量指数は都道府県別の推計という問題がある。福井県と石川県の製造企業が直面している取引価格の変動が全国平均と異なる場合には、その変動を考慮できない。しかし、工業製品の特性から全国平均で捉えることはある程度正当化されるのではないかと考える。工業製品は農産物とは違い、気温や降水量、日照時間などの地域差のある自然条件に依存しない。それから、製品価格のベースとなる費用は、原油などのエネルギー価格や原材料価格に大きく依存している。また、原材料を海外から輸入する場合、原材料の国際価格や為替レートに影響を受けるが、これらは国内

での都道府県別の価格差とは関係がない。このような理由で福井県と石川県の製造企業が直面する取引価格の変動を全国平均の物価指数で捉えられるものと仮定する。

第3に、(22)式に従えば物価指数はパーシェ型でなければならないが、製造業部門の取引価格についてパーシェ型で求められた物価指数が存在しないという問題がある。この問題については、パーシェ型の物価指数を連鎖方式の物価指数で近似することにより対応する。この対応がある程度正当化できる理由は、連鎖指数を使うことによってラスパイレズ指数とパーシェ指数の乖離を埋めることができるからである<sup>45)</sup>。しかしながら、連鎖方式の企業物価指数がパーシェ指数に一致するわけではなく、連鎖指数と比べるとパーシェ指数は指数算式上の下方バイアスをもつ。逆に言えば、本来パーシェ指数でなければならないところを連鎖指数で推計すると物価指数を高めに評価することになる。

以上3つの議論を踏まえて、物価指数に関する以下の仮定を置く。

$$P_{CF}^{Feb} = P_{T1}^{Feb} = P^{Feb} \quad (23)$$

$P_{CF}^{Feb}$ と $P_{T1}^{Feb}$ はそれぞれ2018年2月における福井・石川の両県での大雪がなかった場合の仮想的な物価指数と大雪があった場合の物価指数である。第1の理由からこれら2つの指数は等しいと仮定され、第2の理由から2018年2月の全国平均の指数 $P^{Feb}$ に等しく、さらに第3の理由から $P^{Feb}$ をパーシェ指数の近似として連鎖方式の企業物価指数で求められると仮定する。

### 2.3.3 大雪の因果効果と集計された価値

第2.2.3節で定義した差分の差推定量 $\delta$ は、鉱工業生産指数の成長率をベースに計算される。生産指数の水準を使って推定量 $\delta$ を表すと以下ようになる。

$$\delta = \frac{Q_{TI}^{Feb} - Q^{Jan}}{Q^{Jan}} - \frac{Q_{CF}^{Feb} - Q^{Jan}}{Q^{Jan}} \quad (24)$$

ここで、 $Q^{Jan}$ は福井県または石川県において観察された2018年1月の生産指数であり、 $Q_{TI}^{Feb}$ は同県において実際に観測された2月の生産指数、 $Q_{CF}^{Feb}$ は2月に大雪がなかったとした場合に得られたはずの仮想的な生産指数である<sup>46)</sup>。(24)式を整理すると以下になる。

$$Q_{TI}^{Feb} - Q_{CF}^{Feb} = Q^{Jan} \cdot \delta \quad (25)$$

大雪の因果効果 $\delta$ を金銭評価した値は、2月の介入グループでの実際の生産額 $V_{TI}^{Feb}$ と同グループで大雪による介入がなかったとした場合の仮想的な生産額 $V_{CF}^{Feb}$ の差であるから、以下のように示せる。

$$\begin{aligned} V_{TI}^{Feb} - V_{CF}^{Feb} &= V_0 \cdot P_{TI}^{Feb} \cdot Q_{TI}^{Feb} - V_0 \cdot P_{CF}^{Feb} \cdot Q_{CF}^{Feb} \\ &= V_0 \cdot P^{Feb} \cdot (Q_{TI}^{Feb} - Q_{CF}^{Feb}) \quad \dots (23) \text{ 式より} \\ &= V_0 \cdot P^{Feb} \cdot Q^{Jan} \cdot \delta \quad \dots (25) \text{ 式より} \end{aligned} \quad (26)$$

上の式が示すように、金銭評価した大雪の因果効果 $V_{TI}^{Feb} - V_{CF}^{Feb}$ は、基準となる2010年の生産額 $V_0$ 、2018年2月の物価指数の水準 $P^{Feb}$ 、1月の数量指数の水準 $Q^{Jan}$ 、それから大雪の因果効果 $\delta$ によって計算することができる。この金銭評価で注意すべき点は、(26)式が物価指数の水準 $P^{Feb}$ と数量指数の水準 $Q^{Jan}$ に依存していることである。本来ならパーシェ指数でなければならない $P^{Feb}$ を連鎖指数で推計しているため、物価を高めに評価する可能性がある。また、ラスパイレス型の数量指数 $Q^{Jan}$ にはラスパイレス・バイアスと呼ばれる上方バイアス<sup>47)</sup>があるため、生産数量を高めに評価する可能性がある。それゆえ(26)式を使って金銭評価した大雪の因果効果は、生産額への真のダメージに対して高めの評価となる可能性がある。4.4節ではこの問題についてデータによる検証を行う。

## 3 データ

### 3.1 結果変数

本稿の目的は大雪により発生した生産活動への影響を分析することにある。この目的のために、結果変数 $Y_i^t$ をどのように特定すればよいだろうか。生産活動への影響を測る際、生産額のデータが結果変数の候補として考えられる。都道府県レベルで生産額を計測している統計データは「県民経済計算」であるから、このデータの利用を考えるのは自然である。しかし、「県民経済計算」は速報性がなく、執筆時点において得られるデータが2014年までとなっている。さらに、観測頻度が年次であり、四半期や月次の生産額の推計値は「県民経済計算」には存在しない。

都道府県レベルの生産活動を月次で観察できる統計データとして「鉱工業指数」がある。この指数は製造業の生産動向を生産、出荷、在庫の観点から毎月測るもので、現時点の景気とその先行きを分析するために適している。系列は全国平均の指数とともに都道府県ごとに計測された指数も利用可能であり、後者は経済産業省の「地域別鉱工業指数」から入手可能である<sup>48)</sup>。「鉱工業指数」では月次の原系列と季節調整済み系列が利用可能である。「鉱工業指数」の変動に含まれる季節性を除去するために、原系列の前年同月比あるいは季節調整済み系列の前月比による比較が通常なされる。本稿の分析でも原系列にある季節性を取り除く必要があるが、原系列の前年同月比では2017年2月から2018年1月までの大雪以外の因果効果を含めてしまうと考えられる。それゆえ季節調整済み系列の前月比成長率を結果変数に使う。

この結果変数の選択には季節性の除去以外にも理由がある。それは差分の差推定量の構造に関わる理由である。都道府県別の鉱工業指数では「それぞれの地域の生産活動を代表する品目

が選ばれて」<sup>49)</sup> おり、指数に含まれる品目のバスケットが都道府県ごとに異なる。このような状況で比較できるのは都道府県内の生産活動の時間的な推移だけであり、都道府県間で指数の水準を比較することは妥当ではない。例えば、ある時点の生産指数が地域Aで120、地域Bで100であったとしても、指数の採用品目が共通していなければ地域Aは地域Bより1.2倍生産が活発であったとはいえない。基準時において経済活動の地域差について評価していないので、都道府県別の指数の水準でクロスセクションの比較をすることはできないのである。一方、本稿で計測対象とする差分の差推定量は、結果変数の期待値を介入前後で時系列的に比較するだけでなく、介入グループと対照グループ間でクロスセクションの比較も行う。生産指数の水準を使うとクロスセクション方向の差は無意味な値となってしまう。それゆえ、指数の水準ではなく成長率を使って議論を進める<sup>50)</sup>。

### 3.2 平行トレンドの仮定の妥当性

伊藤（2017）は差分の差による分析を行う前にチェックすべきことを2つ挙げている<sup>51)</sup>。1つ目は介入時に介入グループに影響を与えた他の出来事はあるかという点である。これは福井県と石川県のみに2018年2月において顕著な影響をもたらした大雪以外の経済の出来事はあるかという問題であるが、大雪を除いて2018年2月に福井・石川の両県に限って他に大きな出来事があったとは考えられない<sup>52)</sup>。この問題はそれほど懸念しなくてもよいだろう。

2つ目は平行トレンドの仮定が成立するかどうかという点である。第2.2.2節で述べたように、この仮定はDIDを使って大雪の因果効果TETを正しく測るための前提条件である。伊藤（2017）が述べているように、この仮定が成り立つことを立証することはできないので、以下に仮定が成立すると考えられるいくつかの根

拠を示す。

第1に、都道府県の鉱工業生産指数に共通して影響するマクロ経済的な要因の存在である。例えば、「鉱工業指数」の生産指数と在庫指数は経済の需要の動向に応じて互いに関連し合いながら変動している。これは在庫循環図が示している通りである。大雪による介入の直前、2017年11月から2018年1月にかけての日本の製造業の様子を述べると、この時期は輸送用機械工業とはん用・生産用・業務用機械工業の大きな変動に左右された時期である<sup>53)</sup>。2017年11月の段階で翌月12月には「増産計画」、2ヶ月後2018年1月には「大きく減産の見込み」が予想されていた<sup>54)</sup>。2018年1月に計画通りの減産<sup>55)</sup>があった後、2月にこれも計画通りの持ち直し<sup>56)</sup>があった。このような生産量が回復する時期に、福井県と石川県は大雪による介入を受けた。

第2に、データが示す根拠である。経済産業省「地域別鉱工業指数」のサイト<sup>57)</sup>では、経済産業局別と都道府県別の生産指数（2010年を100とする水準）の時系列グラフが掲載されている。これらのグラフを見ると、経済産業局別の系列ではトレンドがかなり共通していると判断できるが、都道府県別に見ていくと共通している時期もあればそうでない時期もあり、なかなか判断が難しい。ただし、2017年11月から2018年2月までの期間にかけては、一部例外となる地域もあるが、増加（11月から12月）、減少（12月から1月）、増加（1月から2月）という強いトレンドが存在することがグラフからも判断できる。介入グループ（福井県と石川県）で生産指数の成長率について加重平均を求めると、その値は全国平均の推移の仕方と整合的となる<sup>58)</sup>。

### 3.3 共変量

第2.2.4節で述べたように共変量による調整

は、差分の差推定量 $\delta$ で大雪の因果効果TETを正しく推計するために必要である。星野（2014）は共変量となる変数の選択に関する指針をまとめている。それによると、「処置前変数であり、かつ従属変数に先行する変数」であれば「共変量として利用してよい」とある。「処置前変数」とは「従属変数と独立変数どちらに対しても関連のある」変数で、「独立変数に時間的に先行する変数」である<sup>59)</sup>。本研究においては2018年2月以前に観測され、かつ都道府県別の鉱工業生産指数の成長率 $Y_i^t$ と大雪による介入を表す変数 $Snow_i$ のどちらにも影響を与えるような変数である。もしあるとすれば、経済の生産活動に影響し、かつ大雪による介入を事前にある程度予想できるような変数だが、このような変数を見つけることはできないだろう。第1節で述べたように大雪による介入は生産活動とは独立であるから、 $Snow_i$ に影響を与える変数は通常使う経済統計のデータには存在しないと考えられる<sup>60)</sup>。

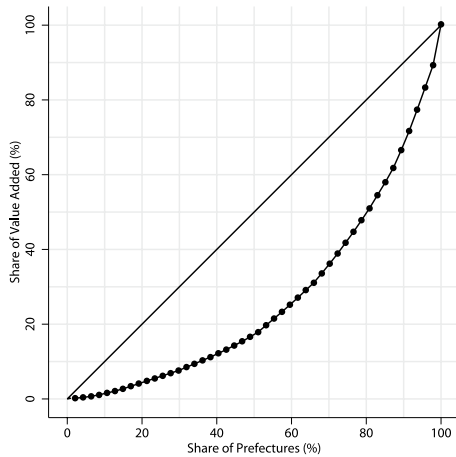
ただ、介入グループ（福井県と石川県）と対照グループ（他の都道府県）との差で、グループ間の差を取っても除去できないような都道府県や地域に固有の要因があるかもしれない。例えば、福井・石川両県の製造業と関連の深い地域に固有の産業構造があり、それが他の地域と異なっている場合、その影響を通じて結果変数に影響を及ぼしているかもしれない。本研究ではこのような要因をコントロールするために、結果変数である都道府県別の鉱工業生産指数に関連し、かつ2018年2月よりも前に値が決まった変数を使って調整を行った。調整に使った変数は（1）経済産業局別在庫率指数の成長率（前月比、季節調整済、1期前）<sup>61)</sup>と（2）都道府県別生産指数の成長率（1期前）である。（1）の産業局別在庫率指数は景気動向指数の先行指標であり、また鉱工業製品の需給状況を表すと考えられる<sup>62)</sup>。（2）の都道府県別生産指数は1期のラ

グ付き従属変数による調整となる。これは生産計画などによってすでに決まっている生産動向の影響を取り除くと考えられる。

### 3.4 ウェイト

差分の差（DID）は結果変数の条件付き期待値からなる。データからDIDを推測する際、標本平均を使って対応する条件付き期待値を推測したり、回帰モデルを使って差分の差推定量 $\delta$ を推計したりする。この際、平均を表す統計量として算術平均と加重平均のどちらを使うかが問題になる。本稿のデータは1時点で1つの都道府県につき1つの観測値を得ている<sup>63)</sup>。もし算術平均を使う場合、都道府県別の生産指数の成長率はグループ内で均等の重み（ウェイト）をつけて集計される。つまり、生産量の多い地域も少ない地域も介入グループないし対照グループの中で同等に扱われることになる。しかし、現実には製造業の盛んな地域や工業地帯をかかえる都道府県があり、それらの地域での生産動向がグループ内の生産動向に大きく影響しているはずである。また、生産量の多い地域には事業所の数も多く、「工業統計調査」や「鉱工業指数」の母集団を考えた場合、都道府県別の生産指数を均等のウェイトで集計することには問題がありそうである。

図1は都道府県別の付加価値ベースの生産額<sup>64)</sup>にどの程度の格差があるかを示した図（ローレンツ曲線）である。縦軸は都道府県別の付加価値額が全体に占める割合を求め、その割合を小さいものから大きいものへと順に並べて積み上げていった数量（累積相対度数）を表す。横軸は各都道府県の累積相対度数であり、これは1都道府県当たり約2.13%の割合（100を都道府県数の47で割る）で均等に積み上がる。半円形のグラフが座標軸に交わる点を読んでいくと都道府県ごとの付加価値額でみた不均等の度合いが理解できる。例えば、グラフは縦軸のおよ



縦軸は都道府県別の付加価値額（2010年、4人以上の事業所）の累積相対度数、横軸は都道府県の累積相対度数。  
出典：「工業統計調査（産業編）」

図1 製造業部門の生産額に関する都道府県間の格差

そ50%、横軸のおよそ80%の座標を通過しているが、これは上位20%の都道府県、数にすると約10都道府県で日本全体の製造業における付加価値のおよそ50%を生み出していることを意味する<sup>65)</sup>。もし都道府県別にみた付加価値のシェアが等しければ、グラフは図中の

45度線に一致するが、そのようなことにはなっていない。ローレンツ曲線が示す通り、都道府県ごとに生産額の規模は大きく異なるため、グループ内平均を求める際、算術平均ではなく加重平均を使ったほうがグループ全体の特徴をよりよく捉えられると考えられる。それゆえ、本稿では都道府県別の観測値に対して付加価値額で加重をつけて統計量を求める。

## 4 結果

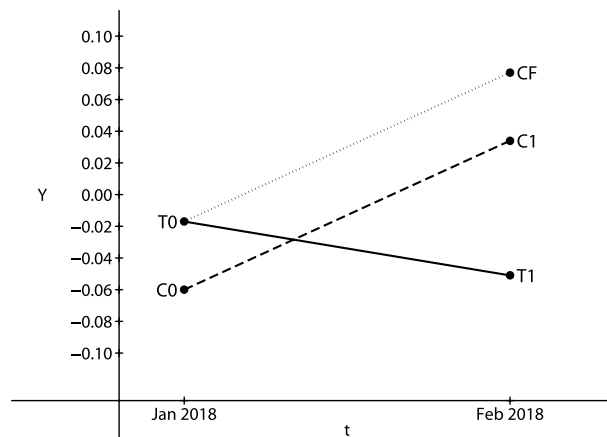
### 4.1 標本平均による差分の差の推計

差分の差推定量 $\delta$ は(13)式のパラメータ（条件付き期待値）に対応する標本平均をグループ別、時点別に求め、それらの差分の差を取ることで推計できる<sup>66)</sup>。表3に標本平均による差分の差推定量 $\delta$ を推計結果を示している。加重平均で-12.9%となり、算術平均で-9.6%となった。2つの平均値の間には3.3%ポイントの差がある。加重平均のほうが因果効果を絶対値で大きく推計することになるのは、付加価値額の大きい都道府県で2018年1月から2月にかけての生産量が伸びており、他の都道府県の平均の差

表3 標本平均による差分の差推定量 $\delta$ の推計

	加重平均	算術平均	対応する母数
福井県・石川県			
(1) 2018年2月	-0.051 (0.026)	-0.053 (0.026)	$\alpha + \beta + \gamma + \delta$
(2) 2018年1月	-0.017 (0.038)	-0.013 (0.039)	$\alpha + \gamma$
(3) 平均の差分 = (1) - (2)	-0.034 (0.046)	-0.040 (0.047)	$\beta + \delta$
他の都道府県			
(4) 2018年2月	0.034 (0.047)	0.014 (0.048)	$\alpha + \beta$
(5) 2018年1月	-0.060 (0.044)	-0.042 (0.045)	$\alpha$
(6) 平均の差分 = (4) - (5)	0.095 (0.064)	0.056 (0.066)	$\beta$
大雪の因果効果			
(7) 差分の差 = (3) - (6)	-0.129 (0.079)	-0.096 (0.081)	$\delta$

福井県・石川県は大雪の影響を受けた介入グループ、他の都道府県は福井県・石川県以外の45都道府県で対照グループを表す。加重平均の列は都道府県別鉱工業生産指数の成長率（前月比、季節調整済）を「工業統計調査（産業編）」の都道府県別付加価値額（2010年）で加重して平均をとった値を表す。括弧内は標準偏差を表す。



グラフの各点に対応する数値は都道府県別付加価値額（2010年）をウェイトにした加重平均値の下で計算。Anglist and Pischke (2009) を参考に作成。

図2 差分の差推定量の図解

分を変えているからである（表の項目（6）を参照）。

図2は加重平均値で推計した差分の差-12.9%の図解である。点 $T_0$ と点 $T_1$ を結ぶ線は介入グループ（福井県と石川県）における2018年1月から2月にかけての観察された生産指数の成長率の推移を表す。点 $C_0$ と点 $C_1$ を結ぶ線は同期間における対照グループ（他の都道府県）での成長率の推移を表す。点 $CF$ は介入グループにおいて2018年2月にもし大雪が降らなかったとしたら得られたはずの生産指数の成長率を表す<sup>67)</sup>。線分 $T_0T_1$ は1月から2月にかけて介入グループの生産指数の成長率が-0.017から-0.051に0.034だけ減少したことを表している。線分 $C_0C_1$ は同じ時期に対照グループの生産指数の成長率が-0.060から0.034に0.095だけ増加したことを表している。3.2節で述べたように、後者の増加には2月の輸送用機械工業における生産計画に基づいた生産増が大きく寄与している。仮想的な生産指数の成長率を表す点 $CF$ は、介入グループで1月に実現した成長率を表す点 $T_0$ を基点として、対照グループ

で実現した生産指数の推移をそのまま介入グループでの推移に当てはめて求められる。つまり、点 $T_0$ を通るように線分 $C_0C_1$ を平行移動させたときに、2018年2月において得られる生産指数の成長率が点 $CF$ である。これが平行トレンドの仮定の図解である。差分の差（DID）の推定値は点 $CF$ と点 $T_1$ の間の長さに対応する。この長さが表3に示した差分の差の推定値-0.129（の絶対値）に一致する。

#### 4.2 回帰モデルによる差分の差の推計

表4に回帰モデルによる差分の差推定量の推計結果を示す。回帰モデルの推計はすべて最小2乗法（OLS）を用いて行っているが、各都道府県の標本に付加価値額で加重を付けるか付けないかで、モデル（1）-（3）とモデル（4）-（6）の結果が変わる<sup>68)</sup>。差分の差推定量の推定値 $\hat{\delta}$ は「2月ダミーと大雪ダミーの交差項」の係数の推定値であり、表中の1行目に掲載している。これら回帰係数の標準誤差から判断すると、大雪の因果効果（TET）に対応するこの交差項の推定値 $\hat{\delta}$ はみな有意に0から離れており、統計



的に大雪の因果効果がなかったということでは  
きない。

モデルの特定化に応じて交差項の推定値は少  
しずつ異なっている。まず(11)式の回帰モデル  
で共変量による調整を行わない場合(モデル  
(1)と(4))であるが、モーメント法による点推  
定の結果と等しくなる。表4のモデル(1)と(4)  
の結果をみると、それぞれ表3の加重平均値(−  
0.129)と算術平均値(−0.096)に等しくなっ  
ていることがわかる。次に、(15)式の回帰モデル  
で共変量による調整を行った結果であるが、経  
済産業局別の在庫率(前月比成長率、1期前)を  
共変量にしても、交差項の推定値はほとんど変  
わらない。局別在庫率の係数は有意にはならず、  
この変数はモデルの中で利いていないことがわ

かる(モデル(2)と(5))。一方、都道府県別の  
生産指数(前月比成長率、1期前)で調整を行  
うと、係数の推定量はモデル(3)で−0.097、モ  
デル(6)で−0.078となり、共変量調整なしのモ  
デル(1)と(4)と比較すると、それぞれパーセ  
ンテージにして3ポイント程度と2ポイント程  
度推定値が変わる。1期前の都道府県別生産指  
数の係数は有意であり、大雪ダミーの標準誤差  
も小さくなっている(モデル(3)と(6))。

同じ結果変数を説明する異なる6つのモデル  
のうち、どのモデルを選択すべきであろうか。  
まず、付加価値額で観測値を加重したモデル  
(1)−(3)と加重なしのモデル(4)−(6)の選択で  
あるが、第3.4節で述べたように都道府県間に  
著しい生産額の違いがあるので、それを考慮し

表4 回帰モデルによる差分の差推定量 $\delta$ の推計

	被説明変数：鉱工業生産指数(都道府県別、前月比、季節調整済)					
	OLS(付加価値額で加重)			OLS(加重なし)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
2月ダミーと大雪 ダミーの交差項	−0.129*** (0.027) [−4.74]	−0.127*** (0.028) [−4.57]	−0.097*** (0.017) [−5.70]	−0.096*** (0.026) [−3.71]	−0.097*** (0.026) [−3.68]	−0.078*** (0.017) [−4.71]
経済産業局別 在庫率指数	—	0.120 (0.121) [0.99]	—	—	0.139 (0.110) [1.26]	—
都道府県別 生産指数	—	—	−0.605*** (0.179) [−3.38]	—	—	−0.583*** (0.135) [−4.32]
2月ダミー	0.095*** (0.014) [6.91]	0.097*** (0.014) [6.87]	0.044*** (0.014) [3.12]	0.056*** (0.010) [5.62]	0.062*** (0.011) [5.53]	0.023* (0.012) [1.97]
大雪ダミー	0.044* (0.022) [1.96]	0.043* (0.023) [1.89]	0.038** (0.015) [2.60]	0.029 (0.021) [1.37]	0.028 (0.021) [1.36]	0.027* (0.014) [1.89]
定数項	−0.060*** (0.011) [−5.48]	−0.063*** (0.011) [−5.67]	−0.047*** (0.007) [−6.32]	−0.042*** (0.007) [−6.20]	−0.046*** (0.007) [−6.31]	−0.034*** (0.006) [−5.26]
観測数	94	92	94	94	92	94
F値	20.05	14.53	27.51	12.86	9.50	35.47
決定係数	0.524	0.529	0.658	0.275	0.289	0.468

( )内の数値は誤差項の等分散性の仮定の誤りに対して頑健(ロバスト)な標準誤差、[ ]内はt値。\*\*\*は有意水  
準1%で有意、\*\*は5%、\*は10%で有意であることを表す。

たモデル(1)-(3)を選ぶ。モデル(1)と(2)については、経済産業局別の在庫率(前月比成長率、1期前)が有意でないのでモデル(1)を選ぶ。モデル(1)と(3)については、都道府県別の生産指数(前月比成長率、1期前)で共変量調整を行うと、モデル(3)で交差項の係数の推定値が0.032高くなり、-0.097となっている。このパーセンテージにして3ポイントの差はモデルの過小定式化により発生する推定量のバイアス<sup>69)</sup>によるものと考えられるので、より一般的なモデル(3)を選ぶ。このようにして選ばれたモデル(3)では、大雪の因果効果以外の効果を取り除く際に、2月ダミーという定数だけではなく、先行して決まった都道府県別の生産指数という経済学的な背景をもった変数による調整を行っている。標準誤差をモデル(1)とモデル(3)とで比較すると、モデル(3)では交差項と大雪ダミーの係数の推計がより正確にできており、この点からもモデル(3)の結果が妥当であることがわかる。

モデル(3)の結果によると、大雪により福井県と石川県の2月の生産指数の前月比成長率が有意に9.7%減少したと推定される。もし大雪が降らなかった場合の生産量を計画通りの生産量と捉えるならば、福井・石川の両県における2月の実際の生産量は計画比で9割程度になったことを意味する。

#### 4.3 大雪の因果効果の金銭評価

鉱工業生産指数の成長率に対する大雪の因果効果-9.7%は、2018年2月の名目価格<sup>70)</sup>によって金銭評価すると何円になるだろうか。本節では2.3節の議論に従い、大雪が原因で2018年の2月に発生した福井県と石川県の製造業部門における生産額の変化を推計する。

大雪の因果効果を金銭評価するための手段は(26)式に示した通りである。この式に出てくる基準となる生産額 $V_0$ は「工業統計調査(産業

編)」(従業員4人以上の事業所、2010年)における福井県と石川県の生産額から得られる。2010年の1年間における生産額は、付加価値額ベースで福井県が6,656億円と石川県が7,840億円、中間消費を含めた出荷額ベースでは福井県は1兆8,070億円、石川県は2兆3,742億円となっている。鉱工業生産指数と連鎖方式の物価指数は月次であるから基準となる生産額 $V_0$ も1ヶ月単位の額にする必要がある。そこで、この2010年1年間の生産額を12で割って1ヶ月の平均生産額を求め、この額を基準時点における月次の生産額のベース $V_0$ とする。この計算結果は表5の「1ヶ月平均生産額 $V_0$ 」の列に示している。計測したい左辺の生産額の変化 $V_{F1}^{Feb} - V_{CF}^{Feb}$ は、この基準となる生産額 $V_0$ をラスパイレス型数量指数と連鎖方式の物価指数で毎月動かしていき、2月の段階で差分の差の推定値 $\hat{\delta} = -0.097$ を使って観察された生産額の推計値 $V_{F1}^{Feb}$ ともし大雪が降らなかったら達成したはずの生産額の推定値 $V_{CF}^{Feb}$ を求めることによって得られる。金銭評価された大雪の因果効果は表5の「大雪の因果効果 $V_{F1}^{Feb} - V_{CF}^{Feb}$ 」の列に示した通りであるが、以下に計算例を示す。福井県における付加価値額ベースでみた大雪による損失額を求めたい場合、次の計算を行う。

$$V_{F1}^{Feb} - V_{CF}^{Feb} = \underbrace{554.7}_{V_0} \cdot \underbrace{1.030}_{P^{Feb}} \cdot \underbrace{1.426}_{Q^{Jan}} \cdot \underbrace{(-0.097)}_{\hat{\delta}} \\ = -79.0$$

ただし、 $P^{Feb}$ は2018年2月の企業物価指数、 $Q^{Jan}$ は2018年1月の鉱工業生産指数である。2月の生産額 $V_{F1}^{Feb}$ と仮想的な生産額 $V_{CF}^{Feb}$ を個別に求める場合は、まず推定された生産額 $V_{F1}^{Feb}$ を以下のように求める<sup>71)</sup>。

$$V_{F1}^{Feb} = \underbrace{554.7}_{V_0} \cdot \underbrace{1.030}_{P^{Feb}} \cdot \underbrace{1.426 \cdot (1 - 0.0715)}_{Q_{F1}^{Feb}} \\ = 756.5$$

表5 金額に換算された大雪の因果効果

	1ヶ月平均 生産額 $V_0$	物価指数 $P^{Feb}$	数量指数 $Q^{Jan}$	推定された 生産額 $V_{T1}^{Feb}$	潜在的な 生産額 $V_{CF}^{Feb}$	大雪の 因果効果 $V_{T1}^{Feb} - V_{CF}^{Feb}$
付加価値額						
福井県	554.7	1.030	1.426	756.3	835.4	-79.0
石川県	653.3	1.030	1.327	861.9	948.5	-86.6
出荷額						
福井県	1,506	1.030	1.426	2,053	2,268	-214.5
石川県	1,979	1.030	1.327	2,610	2,873	-262.3

$V_0$  は基準年である2010年1年間における生産額の1ヶ月平均値。 $P^{Feb}$  は2018年2月の企業物価指数、 $Q^{Jan}$  は2018年1月の鉱工業生産指数。 $V_{T1}^{Feb}$  は2018年2月の生産額の推定値、 $V_{CF}^{Feb}$  は大雪が降らなかったら2018年2月に達成したはずの生産額の推定値である。 $V_{CF}^{Feb}$  は差分の差の推定値  $\hat{\delta} = -0.097$  の下で計算。 $V_0$ 、 $V_{T1}^{Feb}$ 、 $V_{CF}^{Feb}$ 、ならびに  $V_{T1}^{Feb} - V_{CF}^{Feb}$  の単位は億円。

ここで  $Q^{Feb}$  は2月の観察された生産指数の水準であり、福井県における1月の生産指数1.426と2月の成長率-0.0715を使って計算できる。仮想的な生産額  $V_{CF}^{Feb}$  は上の2つの結果から直ちに求められる。2つの生産額  $V_{CF}^{Feb}$  と  $V_{T1}^{Feb}$  の推計値が意味することは、もし計画通り生産ができれば、他の都道府県の状況から考えて福井県の製造業部門では2月に835億円の生産額が見込めたが、実際には大雪のために756億円となったということである。この生産額の減少幅が金銭評価された大雪の因果効果であり、79億円の損失として推定される。

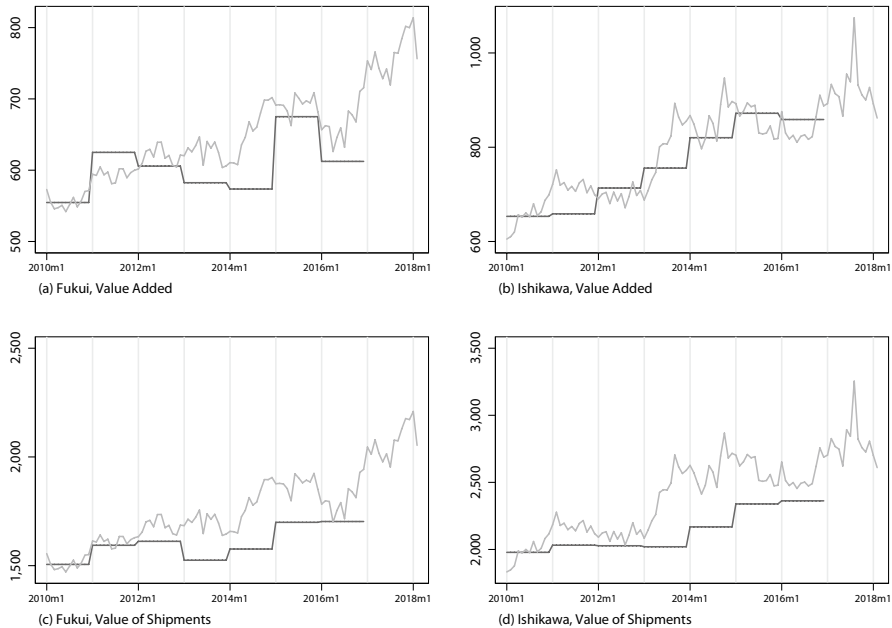
#### 4.4 金銭評価の妥当性

金銭評価した大雪の因果効果  $V_{T1}^{Feb} - V_{CF}^{Feb}$  には、2018年2月の物価指数の水準  $P^{Feb}$  と1月の数量指数の水準  $Q^{Jan}$  が含まれる。 $P^{Feb}$  はパーシェ指数でなければならないところを連鎖指数で評価しており、 $Q^{Jan}$  はラスパイレス型の数量指数であるから算式上、上方バイアスをもつ。それゆえ、金銭評価した大雪の因果効果は2重の要因で高めの評価となる可能性がある。この金銭評価の方法が妥当かどうかチェックするために、金銭評価した毎月の鉱工業生産指数と

「工業統計調査」<sup>72)</sup> から得られる年間の生産額を比較したものが図3である。パネルの上段が付加価値額ベース、下段が出荷額ベースでの評価となっている。黒色の線は「工業統計調査」の付加価値額ないし出荷額から求めた1ヶ月平均の値、灰色の線は(22)式に基づいて推計した付加価値額ないし出荷額の月次の系列を表す。

鉱工業生産指数を金銭評価する際、2010年の月平均の生産額  $V_0$  を「工業統計調査」から求めているので、2010年1月から12月までの期間は時系列の平均をとると両者は一致する。2011年1月以降は灰色の線と黒色の線の間に何の制約も置いておらず、灰色の線の変動は連鎖方式の企業物価指数とラスパイレス型の生産指数によるものである。この推移を黒色の線で表された「工業統計調査」の生産額の推移と比較することによって、2つの指数を使った推計が妥当かどうか判断する。

付加価値ベース（上段）で見ると、福井県で2013年から2014年にかけて乖離が確認されるが、石川県では灰色の線が黒色の線を縫うようにして推移している。「工業統計調査」のデータは執筆時点で利用可能なものが2016年まで



パネル (a) と (b) はそれぞれ福井県、石川県の製造業部門の付加価値額、パネル (c) と (d) はそれぞれ福井県、石川県の同部門における出荷額を表す。単位は億円。

出典：「工業統計調査（産業編）」、「経済センサス活動調査 産業別集計（製造業）「産業編」」。

図3 付加価値額と出荷額の推計の妥当性

となっているので、2017年1月以降は両者の動きを比較することができない。出荷額ベース（下段）で見ると、福井・石川の両県において基準時2010年からの数年の間は両者の乖離は小さいが、基準時から3年経過したあたり（2013年以降）から両者の乖離が大きくなり、解消されないまま推移している。図3から鉱工業生産指数を金銭評価した系列は、「工業統計調査」の生産額と比較して高めに評価される傾向を持っており、特に出荷額ベースでの乖離が大きいことが分かる。

この原因を考えると、「工業統計調査」も鉱工業生産指数の基データである「生産動態統計調査」もともに全数調査であるから、調査のしくみ上、どちらがより正確であるとは言えないだろう。ただ、「工業統計調査」が一次統計であるのに対し、「鉱工業指数」は加工統計であ

り、その加工に利用される指数算式によって生じるバイアスの有無が違いとして出てくる。灰色の線が黒色の線を上回っているのは、おそらく鉱工業生産指数、すなわちラスパイレス型の数量指数に内在する上方バイアスによるものと考えられる。

では以上の議論を踏まえて金銭評価された因果効果  $V_{FI}^{Feb} - V_{CF}^{Feb}$  はどのように解釈すればよいだろうか。もし指数算式上のバイアスの大きさを測ることができれば、バイアスを補正して損失額を推計することも考えられるが、2017年と2018年の「工業統計調査」のデータが利用可能でないためバイアスの評価ができない。この限定された条件の下で前節の結果を解釈する場合、第2.3節で置いた仮定に基づいて推計した損失額には数量指数と物価指数のバイアスが含まれうることに注意が必要である。どちら

の指数に起因するバイアスであっても、推計された損失額は真の損失額よりも高めの評価となる可能性がある。それゆえ損失額の推計値は、現時点で入手可能なデータから求めることができた大雪による損失額の上限と解釈すればよいだろう。

## 5 含意

本稿の結果から導かれることは、大雪による生産活動へのダメージをできる限り小さくすることの重要性である。行政当局は災害への備えとして事前にできることがあれば政策的な手段を可能な限りとるべきであるし、企業も災害が来るかもしれないという前提で生産計画を周到に練るべきである。この災害の経験を生かして次の災害時には経済的損失額が最小限になるようにできるかぎりの思案を重ねなければならない。

しかしながら、本稿の結果からは災害時にどう対応すればよいのか、あるいは今回の大雪に対してどう対応すればよかったのか、といった問題については答えられない。本稿での独立変数は2018年2月の大雪による介入の有無であり、生産に影響すると考えられる政策実行の有無ではないからである。ただ、本稿のモデルの特徴から、あえて災害時の対応に関する示唆を引き出すと次のようになる。

本稿で推計した「差分の差(DID)」は、介入の有無により介入グループと対照グループの結果変数間に発生した差を評価するものである。平行トレンドの仮定の下で、DIDは大雪の因果効果である「介入グループでの平均介入効果(TET)」に一致する。もし大雪の因果効果が検出されるとすれば、それはDIDが0から有意に離れていることを意味する。本研究では介入グループを福井県と石川県とし、対照グループをその他の45都道府県として分析したので、DID

が有意であるということは、福井・石川の両県とその他の都道府県との間に生産量の月次の成長率に関する格差があることを意味する。そしてその格差は介入の有無、すなわち大雪による顕著な影響の有無を原因としている。

災害時の生産へのダメージを小さくすること、負の因果効果として出てしまった差分の差をなるべく早く0に収束させることに対応する。モデルの中でこれを実現する方法は2つある。第1に、結果変数に介入することである。これは直接的に生産数量、すなわち経済活動の「結果」をコントロールすることであり、具体的には行政当局が民間企業の事業計画や生産計画に積極的に関与していくことに対応するだろう。これはまさに「介入的」な産業政策である。しかし、このような直接介入的な産業政策は過去のものであり、今日の行政当局と企業の関係や国際的環境からすれば取り得ない手段である<sup>73)</sup>。つまり、第1の手段はモデルの中では可能だが、現実的には実行可能でない手段となる。

第2に、中間変数<sup>74)</sup>に介入することである。これは大雪による介入の後に生産量に影響しそうな変数をコントロールすることである。これは大雪によって生じた、生産活動の前提条件に関する都道府県間の格差を収束させることを意味する。本稿の第1節で「自然が人間では及ばないような力で、経済活動の基礎的条件といえる人や物の移動を数日間にわたって止めた」と書いた。もしこの見立てが正しければ、政策的に行うべきことは「人や物の移動」に関して発生した都道府県間の格差をなるべく早く収束させ、ビジネスの前提条件を他の都道府県と均等する水準になるべく早く近づけるということになるだろう。このようにして大雪がもたらした都道府県間の「機会の不平等」をなるべく早く収束させることが求められる<sup>75)</sup>。この第2の手段がモデルの特性からも、現実的にも

推奨される手段となろう。

大雪から5カ月後の現時点(2018年7月)において、福井市では除雪の際に折れ曲がったガードレールやアスファルトについた傷などを除けば、2月の大雪の痕跡はほとんど見当たらなくなっている。福井県と石川県の製造業の生産活動は大雪から1カ月後の3月には持ち直し<sup>76)</sup>しており、大雪の影響は一時的であったように思える。2018年1年間の生産活動の結果はどうなるだろうか。この問題については生産が現在進行中であり、データが手に入らないので答えられない。もしデータを使って答えようとすれば「工業統計調査」や「県民経済計算」を使う必要があるが、2018年の確報が公表されるのはそれぞれ2年先、4年先である<sup>77)</sup>。それより早く知ろうと思えば、生産額ではないが、鉱工業生産指数の年次データ、あるいは法人税収入などを見ても大雪の影響がどの程度であったかをある程度推測できるはずである。データが利用可能になり次第、年次データで本稿と同様の分析を行うことにより、大雪が地域経済にもたらした影響の全体像がよりよく見えてくるようになるだろう<sup>78)</sup>。

本稿のメッセージは、「見えない」現象を妥当な推測の手続きを踏んで「見える」ようにすることの大切さである。現象が「見えない」からといってそれが必ずしも「ない」とは限らない。本稿は反実仮想を使って失われた生産額を「見える」ようにする試みであった。このようにして見えてきた経済の像をより良い政策立案や企業での災害への対策につなげていってもらえれば幸いである。

## 6 結 論

2018年2月、福井県北部と石川県西部では大雪により数日間にわたり交通網が寸断され、交通機関が機能不全に陥ることで地域の経済活動

が停滞した。本稿では因果推論のアプローチを応用し、この大雪の生産活動への影響を介入グループでの平均介入効果によって評価した。2018年1月と2月の都道府県別の鉱工業生産指数(季節調整済)の成長率を結果変数とし、自然による介入は福井県と石川県を介入グループに、その他の都道府県を対照グループに割り当てたと仮定した上で、差分の差推定量を推計した。推計の結果、大雪は2018年2月の福井県と石川県の生産指数の成長率を有意に9.7%引き下げる効果をもっていたと推定される。この大雪の因果効果をいくつかの仮定の下で金銭評価すると、2018年2月に福井県の製造業の生産活動に対し付加価値額ベースで79億円の損失、石川県では87億円の損失が発生したと推定される。企業による中間消費を含めた出荷額ベースでは福井県で215億円の損失、石川県では262億円の損失が発生したと推定される。

## 謝 辞

本稿の内容について議論させていただいた数名の方と有益なコメントを寄せていただいた匿名の査読者に感謝の意を表したい。なお本稿にある誤りはすべて著者に帰するものである。

## 註

- 1) 内閣府(2018)、9ページを参照。
- 2) 同上、17ページを参照。
- 3) 観察データから原因と結果の関係を推論する際、ある原因の下で実際に起こった結果に加えて、その事実とは反する、原因不在の下での仮想的な結果を想定する。前者は統計データで観測できる結果であるが、後者は観測できない潜在的な結果となる。因果推論では何らかの仮定に基づいて後者の潜在的な結果を推測することで、これら2つの結果の統計的な比較を可能にし、その上で両者に有意な差があるとなれば、その結果の差は原因の有無によるはずだ、といった推論を行う。この手法は反実仮想のアプローチ(counterfactual approach)、または提唱した統計学者の名前にちなんでルービンの因果推論

- (モデル)と呼ばれる。詳細については、Angrist and Pischke (2009)、Cameron and Trivedi (2005)、Wooldridge (2002)、星野 (2014)、市村 (2010)、伊藤 (2017)、星野・田中 (2016)などを参照。
- 4) 2010年基準の都道府県別の鉱工業生産指数(季節調整済、前月比成長率、統一品目名「鉱工業」)を用いる。本稿で「鉱工業生産指数の成長率」あるいは単に「生産指数の成長率」と示す場合、季節調整済み系列の前月比成長率を意味する。詳細については3節を参照。
  - 5) 2018年2月の名目価格による評価。評価には「工業統計調査」(2010年基準)の付加価値額および出荷額、「企業物価指数」(2010年基準と2015年基準を接続)を使う。詳細は2.3節を参照。
  - 6) 朝日新聞 (2018b)を参照。
  - 7) Meyer (1995)、Wooldridge (2003)、星野 (2014)などを参照。
  - 8) 会員企業4,000社を対象に行われ、回答数は884社(回収率は22.1%)。このアンケート調査からも大雪により出社が困難になり、多くの企業で休業ないし一部休業になったことがうかがえる。大雪の「自社への影響」として61.6%の企業が「大きな影響があった」と回答し、その「内容(複数回答)」として87.6%の企業が「出勤できない社員がいた」と答えている。大雪直後の週の平日、6日(火)から9日(金)までで回答企業の営業状況を見ると、約30%の企業が「全面休業」、約20%が「一部休業」、約40%が「営業」という状態であった。「営業」していた企業でも午前と午後の率に約10%ポイント程度の差があり、午後から休業にして対応していたことがわかる。この調査結果の速報は朝日新聞 (2018a)や福井新聞 (2018a)などで報じられた。
  - 9) <http://www.pref.fukui.jp/doc/fukuikensaigai/20180206.html>
  - 10) 朝日新聞 (2018b)、(2018c)を参照。
  - 11) 福井新聞 (2018b)を参照。
  - 12) 福井県で2018年2月の鉱工業生産指数の成長率は-7.2%となった(福井県、2018b)。この数値を大雪の因果効果と言ってよいだろうか。「-7.2%が大雪の因果効果である」という主張をする場合に暗に仮定されていることは、もし大雪が降らなかったとしたら鉱工業生産指数の2月の値が1月の値に等しいということである。この仮定をignorabilityの条件という(市村、2010、302ページ)。つまり、2018年1月の値を使って大雪が降らなかった場合に得られたはずの仮想的な2月の値を推定していることになる。確かに-7.2%という値は大雪の影響を受けた結果であるから、このような推論自体は誤りではない。しかし、大雪が降らなかった場合の2月の値が1月の値に等しいという仮定は成り立つだろうか。もし1月から2月にかけて生産量に変動がある場合、この仮定は成立しない。それゆえ、「-7.2%が大雪の因果効果である」と結論するのは問題があるだろう。本稿で用いた差分の差推定量ではこうした時間的な変動が除去された上で因果効果が計測される。
  - 13) Angrist and Pischke (2009)を参照。
  - 14) 原因となる変数の値を動かすことをいう。実験研究では研究者が原因となる変数の値を設定することができるが、観察研究ではその変数の値を研究者が設定できない(星野、2014、9ページ)。経済統計データの多くは受動的な観察によって得られるため、経済学の分野で経済主体に研究者が介入することは一部の研究を除いて稀である。しかし、近年では経済学の分野でも実験や無作為割り当てを行う実証分析が盛んに行われるようになっていく。分析例についてはAngrist and Pischke (2009)、市村 (2010)、伊藤 (2017)を参照せよ。
  - 15) 厳密には「価額(物の値打ちに相当する金額)」であるが、本稿では「価値」をこの意味で使う。
  - 16) 鉱工業生産指数はラスパイレス型の数量指数であり、バスケットに含まれる品目の基準時点の価格で加重をつけて品目別の数量指数を集計している。このラスパイレス型の算式では、指数を評価する比較時点が基準時点から遠く離れるにつれて、基準時の価格が比較時の価格の実勢を反映しなくなるため、通常上方バイアスを持つ。ILO et al. (2004)、経済産業省大臣官房調査統計グループ経済解析室 (2014)を参照。
  - 17) Wooldridge (2002)、129ページを参照。
  - 18) 福井地方気象台 (2018)、1ページを参照。
  - 19) 従来の極値は1913年2月10日の記録で58.4mm。福井地方気象台 (2018)、16ページを参照。
  - 20) 従来の極値は2012年1月15日の記録で42cm。同上を参照。
  - 21) 加賀菅谷の従来の極値は64cmで1984年2月3日の記録。白山河内の従来の極値は69cmで1986年1月10日の記録。金沢地方気象台 (2018)、9ページを参照。
  - 22) 福井地方気象台 (2018)、1ページを参照。
  - 23) 金沢地方気象台 (2018)、1ページを参照。
  - 24) 同上に掲載されている降雪量分布図(平成30年2月4日から7日)を参照。
  - 25) 内閣府 (2018)には2018年2月の大雪に関連する全国の(1)気象状況、(2)被害状況、(3)道路や交通機関などの状況、(4)国と地方自治体の対応などがまとめられている。(1)と(2)については、日本海側の広い範囲(一部内陸部も含む)で記録的な大雪が観測され、人的・物的被害が生じたことがわかる。(3)と(4)については、交通への影響や災害への対応の範囲と規模において福井県北部と石川県西部の状況が際立っている。
  - 26) 同上、17ページを参照。

- 27) 実施された区間は国道8号線の福井県あわら市牛ノ谷から福井市和田2丁目までの区間(24km、2月6日13時40分から9日5時まで)と石川県加賀市箱宮町から加賀市熊坂町までの区間(14.5km、2月6日14時55分から2月9日5時まで)の2区間である。同上、9ページを参照。
- 28) 福井インターチェンジから加賀インターチェンジまでの区間(31km)で2月7日から2月9日まで。同上を参照。
- 29) 本節にあるモデルの説明は、星野(2014)とAnglist and Pischke(2009)を参考に、本稿の分析対象に対応するよう変数名などを書き換えたものである。2.2.1節と2.2.2節は星野(2014)、103-105ページ、2.2.3節と2.2.4節はAnglist and Pischke(2009)、5.2節を参照。
- 30) 表2にあるデータに関する議論は第3節を参照されたい。
- 31) これを「因果推論における根本問題」という。星野(2014)、37ページを参照。
- 32) 処置群(介入グループ)における平均介入効果(average treatment effect on the treated, TET)と呼ばれる。詳細については星野(2014)、38ページを参照。
- 33) 「平行トレンドの仮定」という用語は伊藤(2017)に従う。
- 34) 証明については星野(2014)、105ページと伊藤(2017)、278ページを参照。
- 35) (12)式は $Feb^t$ と $Snow_i$ の実現値で決まる条件付き期待値の関数である。(12)式は、 $Feb^t$ と $Snow_i$ の可能な値の組み合わせ( $Feb^t, Snow_i$ )=(1, 1), (0, 1), (1, 0), (0, 0)に対して誤差項 $\epsilon_i^t$ の条件付き期待値がすべて0になることを意味する。Anglist and Pischke(2009)、2.3節、3.1.4節、および5.2節を参照。
- 36) インパクトの大きさを説明するため、因果効果として得られた変化分と同等の変化をもたらした時期のイベントと比較することが考えられるかもしれない。例えば、リーマンショック以降の指数の減少幅と今回の大雪による減少幅を比較してインパクトの大きさを伝えたいといった方法である。しかし、このような比較は慎重に行わなければならない。なぜなら、生産指数の落ち込みの背景となる要因やその影響の範囲が全く異なるからである。リーマンショックを例に挙げると、これは金融システムという経済の内生的メカニズムに起因するものであり、大雪のような外生的なショックとは異なる。それから、リーマンショックは米国内に留まらず広く世界に影響を及ぼしたマクロショックであり、今回の大雪のようにある地方だけが影響を受けたようなショックとは異なる。仮に減少幅が同じであったとしても、その背後にある原因や当時の経済状況が異なれば、それへの対応策も変わる。

単純な比較では対応策を見誤ることにつながるだろう。

- 37) 梅田・宇都宮(2013)を参照。
- 38) Value aggregateは「価額の集計値」と訳されるが、本稿で「集計された価値」と言い換えている。
- 39) Diewert(1978)、885ページを参照。文献によってはproduct testともいわれる。例えば、ILO et al.(2004)、264ページを参照。
- 40) (22)式を書き下すと次のようになる。

$$\sum_{j=1}^n p_j^t q_j^t = \sum_{j=1}^n p_j^0 q_j^0 \cdot \frac{\sum_{j=1}^n p_j^t q_j^t}{\sum_{j=1}^n p_j^0 q_j^0} \cdot \frac{\sum_{j=1}^n p_j^0 q_j^0}{\sum_{j=1}^n p_j^0 q_j^0}$$

右辺にある $\sum_{j=1}^n p_j^0 q_j^0$ を消去すると次のようになる。

$$\sum_{j=1}^n p_j^t q_j^t = \frac{\sum_{j=1}^n p_j^t q_j^t}{\sum_{j=1}^n p_j^0 q_j^0} \cdot \sum_{j=1}^n p_j^0 q_j^0$$

左辺はt時点での価格で測られたt時点の価値の集計量、右辺の第1項はパーシェ物価指数、第2項は0時点での価格で測られたt時点の価値の集計量である。集計された価値としてGDPを考えると、左辺は名目GDP、右辺の第1項はパーシェ物価指数、第2項は実質GDPとなる。GDPの推計では名目GDPと実質GDPが推計され、上の式を満たすようにしてGDPデフレーターが決まる。この意味でGDPデフレーターはインプリシット・デフレーターと呼ばれる。本稿の金銭評価では基準時2010年の生産額 $V_0$ と鉱工業生産指数 $Q_L(\cdot)$ から製造業部門の実質の県内総生産を求めている。さらにいくつかの仮定に基づいて物価指数 $P_P(\cdot)$ を特定する。これらの数量が決まると、2018年1月と2月の名目の県内総生産 $V_t$ が(22)式により直ちに求められる。

- 41) 「連鎖方式による国内企業物価指数2010年基準」と「同2015年基準」を利用する。これらの時系列データは日本銀行の「時系列統計データ検索サイト」からダウンロードできる。本稿では2010年基準の系列は2015年1月以降、2015年基準に接続した。リンク係数は102.475となった。
- 42) 工業製品が84.1パーセント、鉱産物が6.5パーセントである。日本銀行調査統計局(2017b)を参照。
- 43) 日本銀行調査統計局(2017a)を参照。
- 44) 調査は2000年において東証一部に上場していた1,206社へのアンケート調査で、630社が回答した(回収率52.2%)。
- 45) 連鎖方式の企業物価指数は正確には「連鎖基準ラスパイレス指数算式」による指数である。この指数は基準時を1年ごとに更新するが、基準年内の指数(連環指数)はラスパイレス型で求めるというものである。日本銀行調査統計局



- (2017a)、101ページを参照。Diewert (1978) によると、連環指数をラスパイレステ型やパーシェ型、あるいはフィッシャー算式で求めたとしても、それらの連鎖指数の推計値は無視できるほどの違いしかもたらさない。フィッシャー算式はラスパイレステ指数とパーシェ指数の幾何平均であり、その指数による推定値は両指数の中間に値をとる。連鎖方式の企業物価指数がフィッシャー算式を連環指数にもつ連鎖指数に対して推計上の差をもたらさないということは、企業物価指数の推計値もまたラスパイレステ指数とパーシェ指数の中間にあることを意味する。それゆえ、連鎖方式による企業物価指数とパーシェ指数との乖離はラスパイレステ指数とパーシェ指数の乖離よりも小さくなると言える。本稿ではこのような形の近似を行う。ILO et al. (2004)、266ページと281ページを参照。
- 46) 図2において  $\frac{Q_{T1}^{Feb}-Q_{Jan}^{Jan}}{Q_{Jan}^{Jan}}$  が点 T1 に、 $\frac{Q_{CF}^{Feb}-Q_{Jan}^{Jan}}{Q_{Jan}^{Jan}}$  が点 CF に対応する。ただし、図2の各点は介入グループないし対照グループの生産指数の成長率に関する加重平均値であるのに対し、(24) 式の右辺は福井県と石川県の都道府県別に求めた数値であることに注意が必要である。これは大雪の因果効果  $\delta$  が介入・対照の両グループ間の平均の差として求められるのに対し、 $\delta$  を金銭評価する際は福井県と石川県の都道府県別に評価するという分析の目的上生じる違いである。
- 47) ILO et al. (2004)、経済産業省大臣官房調査統計グループ経済解析室 (2014) を参照。
- 48) 経済産業省「地域別鉱工業指数 (<http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/iip/chiiki/index.html>)」には都道府県別あるいは経済産業局別に鉱工業指数のデータがまとめられたファイルが存在する。ただし、そのファイルにはリストされていない都道府県があったり、リストされていてもデータの更新が止まっていたりする場合がある。経済産業省のファイルでデータが欠損している場合は都道府県の統計サイトに直接アクセスし、直近の鉱工業指数の集計結果を取めたファイル (執筆時点では平成30年3月分) をダウンロードした。
- 49) 経済産業省大臣官房調査統計グループ経済解析室 (2014)、61ページを参照。
- 50) 鉱工業生産指数の成長率により都道府県間の比較を行うことは、国際金融の分野で購買力平価 (PPP) を検証する際、「相対的 PPP」を分析対象とすることと同様に捉えることができる。PPP の検証では為替レートの変動を考慮に入れた場合、複数の国の間で物価水準が均衡するか否かを調べる。国が異なると物価指数に含まれる財のバスケットが異なるので、物価指数の水準そのものを比較することは妥当ではない。そこで国ごとに指数の上昇率を計測し、それらによ
- て調整された実質の為替レートが均衡の水準で推移するかどうかを検証する。Froot and Rogoff (1995)、1650ページを参照。本研究では大雪を通じて都道府県間の生産量にどの程度の不均衡が生じたかを問題としている。この目的のために鉱工業生産指数という数量指数を使って都道府県間の比較を行うが、指数の水準そのものの比較には意味がないので指数の成長率を使う。
- 51) 伊藤 (2017)、187ページを参照。
- 52) 福井県と石川県にまたがる大型プロジェクトとして北陸新幹線の延伸工事があるが、それは2018年2月に限ったことではない。
- 53) 経済産業省「平成29年11月の鉱工業 (生産・出荷・在庫) 指数の動向 (確報)」など (2017年11月から2018年2月までの各確報) に書かれた「概況」を参照。
- 54) 経済産業省 (2017) を参照。
- 55) 2018年1月の生産指数の成長率 (全国平均) は -6.6% となった。全業種でマイナスとなったが、最も寄与が大きかったのは輸送用機械工業 (前月比 -14.1%) で、次にははん用・生産用・業務用機械工業 (前月比 -7.8%) である。経済産業省 (2018a) を参照。
- 56) 2月の生産指数の成長率 (全国平均) は 4.1% となった。輸送用機械工業 (前月比 10.3%) の寄与が最も高く、次いでははん用・生産用・業務用機械工業 (前期比 3.6%) が大きく寄与した。経済産業省 (2018b) を参照。
- 57) <http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/iip/chiiki/index.html>
- 58) 2017年12月は前月比で1.4%の増加、2018年1月は前月比で -1.7% の減少となる。
- 59) 星野 (2014)、118ページを参照。
- 60) この場合、共変量は「独立変数と独立であり、かつ従属変数に先行する変数となる」。星野 (2014)、図4.1の (c) ならびに120ページを参照。
- 61) 経済産業局別データを使うのは、多くの都道府県で在庫率指数が計測されていないからである。在庫率指数については沖縄県のデータが欠損となるので、同変数を共変量として含める場合は沖縄県のサンプルをデータから外している。この場合、観測値の個数は92となる。なお福井県と石川県はそれぞれ近畿経済産業局、中部経済産業局に属している。
- 62) 経済産業省大臣官房調査統計グループ経済解析室 (2014)、22ページを参照。
- 63) 時点は2時点であるので観測値の個数は94 (47都道府県で2時点分) となる。
- 64) 2010年の「工業統計調査 (産業編)」、都道府県別付加価値額 (従業者4人以上の事業所) を参照。「鉱工業指数」の基準年に合わせて「工業統計調査」も平成22年 (2010年) のものを使う。「工業統計調査」は「鉱工業指数」のウェイト算

- 出に使われる原データであり、業種の範囲と分類が「鉱工業指数」と整合的である。経済産業省大臣官房調査統計グループ経済解析室（2014）を参照。
- 65) 付加価値額が最も大きい都道府県は愛知県で（9兆9千億円、10.9%）そのあと降順で静岡県（5兆4千億円、6.0%）、大阪府（5兆4千億円、5.9%）、神奈川県（5兆1千億円、5.7%）、兵庫県（4兆6千億円、5.1%）と続く。これら5府県で全国の付加価値額の33.6%を占める。
- 66) これはモーメント法と呼ばれる推定方法である。東京大学教養学部統計学教室（2018）、216ページを参照。条件付き期待値からなるDIDは、各々の条件付き期待値に対応する統計量（sample analogue）、すなわち各グループ、各時点での母平均に対応する標本平均により推計できる。Angrist and Pischke（2009）、229ページを参照。
- 67) 各点の記法の意味は次の通り。介入グループと対照グループを表す $T$ と $C$ はそれぞれtreatment groupとcontrol groupの頭文字、仮想的な生産指数の成長率を示す $CF$ はcounterfactualの略である。
- 68) モデル（1）-（3）では都道府県別の観測値を都道府県の生産規模（2010年の鉱工業部門の付加価値額）で加重をつけて最小2乗法（OLS）による推計を行っている。これは残差2乗和を誤差項の分散の大きさで加重をつけて計算する、いわゆる加重最小2乗法（WLS）とは異なる。
- 69) 山本（2003）、113ページと116ページを参照。
- 70) 計測した額は2018年2月の名目価格による評価額である。もし他の時点でこの名目額の大きさを評価しようとする場合は、その時点までの価格変動を除いた実質値にして評価する必要がある。
- 71) 本文の計算結果は四捨五入された表の数値に基づく。端数処理が異なるので表の結果と若干ずれが生じる。
- 72) 2011年と2015年のデータは「経済センサス－活動調査 産業別集計（製造業）「産業編」」に基づく。
- 73) 伊藤他（1996）、26ページを参照。
- 74) 介入の有無を表す独立変数と結果を表す従属変数の間にあって、独立変数の影響を受けながら、かつ従属変数に影響を与えるような変数のことを指す。星野（2014）、7ページを参照。
- 75) 福井県は2月、政府に対して「除排雪経費等に関する財政支援」、「雪に強い国道8号の整備促進」、「鉄道事業者の雪害対策の強化」、「被災農業者や中小企業に対する支援」などを要請した。これらの政策は生産活動の前提条件を都道府県間で均等化させ、災害時に必然的に発生する「機会の不平等」を早期に収束させるために不可欠なことであり、今後も積極的に進めていくことが望まれる。福井県（2018d）を参照。
- 76) 2018年3月の福井県と石川県の鉱工業生産指数の成長率はそれぞれ5.7%（福井県、2018c）、6.2%（石川県、2018）となった。日銀金沢支店は3月から4月にかけての北陸地方の製造業の生産を「高水準で横ばい圏内の動き」、業種別では「電子部品・デバイス、化学、はん用・生産用・業務用機械は高水準で横ばい圏内の動き」、「金属製品、繊維は横ばい圏内の動き」と判断している（福井県、2018a、16ページ）。
- 77) 「県民経済計算」については県内総生産や県民所得といった主要計数の公表を早期化する動きがあるので、公表までの期間が短縮される可能性がある。内閣府経済社会総合研究所国民経済計算部（2018）を参照。
- 78) 本稿で用いたデータとプログラム（Stata）は要望に応じて頒布可能である。

## 参考文献

- Angrist, J. D. and J. S. Pischke. 2009. *Mostly Harmless Econometrics: An Empiricist's Companion*. Princeton University Press.
- Cameron, A. C. and P. K. Trivedi. 2005. *Microeconometrics: Methods and Applications*. Cambridge University Press.
- Diewert, W. E. 1978. "Superlative Index Numbers and Consistency in Aggregation." *Econometrica* 46(4), pp. 883-900.
- Froot, K. A. and K. Rogoff. 1995. "Perspectives on PPP and Long-Run Real Exchange Rates." in *Handbook of International Economics*. Vol. 3. Edited by G. Grossman and K. Rogoff. Amsterdam: Elsevier.
- ILO, IMF, OECD, UNECE, Eurostat, and the World Bank. 2004. *Consumer Price Index Manual: Theory and Practice*. Geneva: International Labour Office.
- Meyer, B. D. 1995. "Natural and Quasi-Experiments in Economics." *Journal of Business & Economic Statistics* 13(2), pp. 151-161.
- Wooldridge, J. M. 2002. *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. The MIT Press.
- . 2003. *Introductory Econometrics: A Modern Approach, 2e*. Thomson/SouthWestern.
- 朝日新聞「大雪、経済にも打撃 福井商議所調査、企業9割超「影響」／福井県」(2018年2月16日, 2018a年)
- 「除排雪費、150億円超に 県、8億円追加補正 県と17市町／福井県」(2018年3月17日, 2018b年)
- 「除雪費増で給料減 福井市が方針、職員労組は反発 財源不足で10% 9か月案／福井県」(2018年5月17日, 2018c年)
- 石川県『石川県鉱工業指数（平成30年3月分）』(2018年)
- 市村英彦「ミクロ実証分析の進展と今後の展望」(日

- 本経済学会編『日本経済学会75年史一回顧と展望』に所収、有斐閣、2010年)
- 伊藤公一朗『データ分析の力 因果関係に迫る思考法』(光文社、2017年)
- 伊藤元重、清野一治、奥野正寛、鈴木興太郎『産業政策の経済分析』(東京大学出版会、1996年)
- 梅田雅信、宇都宮浄人『経済統計の活用と論点(第3版)』(東洋経済新報社、2013年)
- 金沢地方気象台「平成30年2月4日から7日にかけての大雪に関する石川県気象速報」(2018年2月8日、[https://www.jma-net.go.jp/kanazawa/sokuho/20180207\\_kanazawa.pdf](https://www.jma-net.go.jp/kanazawa/sokuho/20180207_kanazawa.pdf), 2018年)
- 経済産業省「先行き生産計画では、12月は増産計画だが年明け1月は減産見込み。」(2017年12月28日(経済解析室ニュース), [http://www.meti.go.jp/statistics/toppage/report/archive/kako/20171228\\_4.html](http://www.meti.go.jp/statistics/toppage/report/archive/kako/20171228_4.html), 2017年)
- 「2018年1月の生産は、全業種で前月比低下。」(2018年2月28日(経済解析室ニュース), [http://www.meti.go.jp/statistics/toppage/report/archive/kako/20180228\\_3.html](http://www.meti.go.jp/statistics/toppage/report/archive/kako/20180228_3.html), 2018a年)
- 「平成30年2月の鉱工業生産は、前月比4.1%と上昇、2か月ぶりの上昇。」(2018年3月30日(経済解析室ニュース), [http://www.meti.go.jp/statistics/toppage/report/archive/kako/20180330\\_1.html](http://www.meti.go.jp/statistics/toppage/report/archive/kako/20180330_1.html), 2018b年)
- 経済産業省大臣官房調査統計グループ経済解析室『鉱工業指数のしくみと見方』(2014年)
- 東京大学教養学部統計学教室編『統計学入門』(東京大学出版会、2018年)
- 内閣府「2月4日からの大雪等による被害状況等について」(2018年2月15日、[http://www.bousai.go.jp/updates/h300204ooyuki/pdf/h300204ooyuki\\_09.pdf](http://www.bousai.go.jp/updates/h300204ooyuki/pdf/h300204ooyuki_09.pdf), 2018年)
- 内閣府経済社会総合研究所国民経済計算部「県民経済計算の主要数に係る情報提供の早期化について」(2018年)
- 日刊工業新聞「北陸大雪、企業動静一覧(電子版)」(2018年2月7日、<https://www.nikkan.co.jp/articles/view/00460968>, 2018年)
- 日本銀行調査統計局「日本企業の価格設定行動－「企業の価格設定行動に関するアンケート調査」結果と若干の分析－」(『日本銀行調査月報』、2000年)
- 『2015年基準企業物価指数の解説』(2017a年)
- 「2015年基準企業物価指数 基本分類指数 品目分類編成・ウエイト一覧(国内)」([https://www.boj.or.jp/statistics/outline/exp/pi/cgpi\\_expref/2015cp.xlsx](https://www.boj.or.jp/statistics/outline/exp/pi/cgpi_expref/2015cp.xlsx), 2017b年)
- 福井県『福井県月例統計指標(平成30年5月)』(2018a年)
- 『福井県鉱工業指数(平成30年2月分)』(2018b年)
- 『福井県鉱工業指数(平成30年3月分)』(2018c年)
- 「平成30年2月の大雪について」(<http://www.pref.fukui.lg.jp/doc/fukuikensaigai/report.html>, 2018d年)
- 福井商工会議所「「豪雪の影響に関する調査(確定版)」結果要旨」(<http://www.fcci.or.jp/chousa/2017/gosetsu-chousa.pdf>, 2018年)
- 福井新聞「記録的な大雪、企業に与えた影響 福井商工会議所が緊急調査」(2018年2月18日、<http://www.fukuishimbun.co.jp/articles/-/295614>, 2018a年)
- 「給与削減率、福井市と職員労組合意 平均5.8%、7月から9ヶ月間」(2018年6月7日、<http://www.fukuishimbun.co.jp/articles/-/402952>, 2018b年)
- 福井地方気象台「平成30年2月4日から8日にかけての大雪に関する福井県気象速報」(2018年2月14日、[https://www.jma-net.go.jp/fukui/topics/PDF/news/20180204-08\\_snow.pdf](https://www.jma-net.go.jp/fukui/topics/PDF/news/20180204-08_snow.pdf), 2018年)
- 星野崇宏『調査観察データの統計科学 因果推論・選択バイアス・データ融合』(岩波書店、2014年)
- 星野匡郎、田中久稔『Rによる実証分析－回帰分析から因果分析へ－』(オーム社、2016年)
- 山本拓『計量経済学』(新世社、2003年)