

ニューラルネットワークを用いた2001年大雪による 交通障害の要因分析

— 石川県内の主要幹線をケーススタディとして —

A Causal Factor Analysis of Traffic Obstacles Due to the 2001 Heavy Snow Using Neural Network

— A Case Study of Trunk Road in Ishikawa —

宮原 賢*¹・池本 敏和*²
Satoshi Miyahara Toshikazu Ikemoto

北浦 勝*³・宮島 昌克*³
Masaru Kitaura Masakatsu Miyajima

SYNOPSIS

It is extremely important to consider traffic blockage due to heavy snow. In this study, we used observed data of traffic interception due to snow between January 11 and 20, 2001 in Ishikawa and investigated the mechanism of such an event based on neural network approach. We performed sensitivity analysis to compare the effect of input parameters on output values. The sensitivity is defined as a mean value of various output values in each of the seven divisions which were assigned between plus one standard deviation and minus one standard deviation. Mitigation measures such as increasing snow-melting facilities and decreasing the number of passing vehicles of each route were discussed.

1. はじめに

日本の国土の約51%が、石川県内ではその全域が豪雪及び特別豪雪地帯に指定されており、冬の生活は昔から雪と密接に関わり合ってきている。しかし、近年は暖冬ということもあって人々の雪に対する意識は薄れがちである。また社会の高齢化、人口の都市集中化や道路交通の発達による自動車数の増加に伴う交通障害、農山村地域における過疎化など、大雪時に被害が増大する可能性を秘めている。このような中、金沢では2001年1月に1晩で60~80cmの積雪があり、24時間当たりの降雪量は2001年冬において日本で一番多かったと言われている。人的被害、建物被害など雪による被害の中では交通障害が最も大きかった。その原因として、渋滞による除雪作業の遅れが影響していたと考えられる。また、通行止めがいくつかの路線で発生した。これは、対象とす

る路線の除雪作業を迅速に行うために一定区間から車両を完全に排除したからである。

冬期の道路渋滞の要因を数値化し、量的に取り扱った研究はほとんどない。道路上の車の流れ、すなわち渋滞やその要因が数値的に表しにくいことがこの原因と考えられる。

本研究では、国土交通省金沢河川国道事務所と石川県内8ヶ所の土木事務所の内6ヶ所(大聖寺、鶴来、金沢、津幡、羽咋、輪島)が管理している国道及び県道を対象に、ニューラルネットワークによる学習及び感度解析¹⁾を行った。このとき除雪作業のために道路を通行止めにしていった時間に注目し、通行止めと関連のありそうな項目を抽出、数値化し、各項目の通行止め時間への影響度(感度)を算出した。また、その影響度を参考に通行止めの軽減策を検討した。

* 1 金沢大学大学院自然科学研究科博士前期課程

* 2 金沢大学大学院自然科学研究科 助手・博(工)

* 3 金沢大学大学院自然科学研究科 教授・工博

2. ニューラルネットワーク

ニューラルネットワークは入力・出力間の関係を用いた。ニューラルネットワークのモデルについては多くの研究がある^{1,2)}。本研究では、入力と出力の間にいくつかの「中間層」を設ける「階層型ニューラルネットワーク」の逆誤差伝播法(図1参照)を用いた。入力層1, 中間層1, 出力層1の3層構造であり、入力信号8, 出力信号1, 中間層におけるニューロン数18である。

入力層, 中間層, 出力層のユニット数をそれぞれ I, J, K とする。中間層, 出力層に入力関数を用いることにすれば中間層第 j ユニット ($j=1, 2, \dots, J$), 出力層第 k ユニット ($k=1, 2, \dots, K$) での出力 o_j, y_k はそれぞれ次式のようになる。

$$o_j = f(u_j) = f\left(\sum_{i=1}^I w_{ji} t_i\right) \quad (1)$$

$$y_k = f(z_k) = f\left(\sum_{j=1}^J w_{kj} o_j\right) \quad (2)$$

ここで、 t_i は入力層第 i ユニットでの出力、 u_j は中間層第 j ユニットへの入力値、 z_k は出力層第 k ユニットへの入力値、 w_{ji} は入力層 i ユニットと中間層 j ユニット間のリンク結合荷重、 w_{kj} は中間層 j ユニットと出力層 k ユニット間のリンク結合荷重である。

学習は、教師信号ベクトルを y_{ak} とすると、次式の出力層における誤差の2乗和が最小化されるように行う。

$$E = \sum_{k=1}^K (y_k - y_{ak})^2 \quad (3)$$

3. 入力・教師データ

本研究では、通行止めの生じた22路線と生じなかった22路線の合わせて44路線を対象とし、44路線の内36路線を学習データに、8路線を検証データに用いて分析を行った。また、ニューラルネットワークを使用するに当たり、入力データ・教師(出力)データの項目を以下のように設定した。

(入力データ)

- ①車道幅員 ②ピーク時間交通量
- ③消融雪装置設置延長 ④除雪計画路線区分

- ⑤凍結防止剤散布延長 ⑥日最大降雪量
- ⑦最高積雪深 ⑧通行止め距離

(教師データ)

- 1) 各路線の通行止め時間

ここで、①と②、⑥と⑦は相互に相関性を有していると考えられる。前者については、分析対象年度の大雪時は平年時のような項目間の相関がなかった路線もあったため、両項目を用いた。後者については、気温が0℃を上下する地域では降雪量と積雪深の関係に違いが生じてくるため、地域特性を考慮してそれぞれを入力信号に用いた。また、通行止め時間には道路管理者の労力(投入機材, 人員, 形態等)も影響を及ぼすと考えられるが、労力については5段階(平常, 注意, 準警戒, 警戒, 緊急)に分類されている除雪体制でしか評価できず、実際の除雪体制にも偏りがあったため、労力に関する項目を入力信号から省いた。入力データの各項目をニューラルネットワークに用いる場合、対象とする路線ごとの地域特性や単位量が違うために収集したデータの値をそのまま用いることができない場合がある。そこで各項目のそれぞれの値を同じ評価基準に加工、もしくは数量化する必要がある。その方法を以下に記す。①, ②については、得られたデータの値をそのまま使用した。③, ⑤, ⑧については、それぞれの項目の値を対象とする路線ごとに総延長で除して、各項目の延長が路線のどれくらいの割合を占めているかを求めた。このとき、道路管轄内の主要幹線の始点・終点及び他線と接続する交差点をノードと考え、各ノード間を繋ぐリンクを1つの路線として扱っ

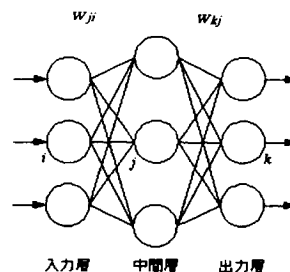


図1 階層型ニューラルネットワーク

た。④については、以下のようにした。道路は除雪区分として重点除雪、第1種、第2種、第3種の4路線に分類されているため、それぞれを0点、1点、2点、3点と点数付けした。そして、路線ごとに除雪区分の点数と総延長に対する除雪区分ごとの延長の割合を乗じて、各路線の除雪の重要度（優先度）を数値で表した。値が小さいほど除雪の重要度は高くなる。⑥、⑦については、降雪量の多少や気温などの地域特性を考慮して、観測値を最近20年分の平均値で除した値を用いた。この値は例年よりどれくらい多くの降雪及び積雪があったかを表している。

また、上述のように加工もしくは数量化した各項目の値(X)をその平均値(μ)と標準偏差(σ)を用いて、「各入力データの平均値まわりのばらつき」を表す形に変換した。したがって、各入力データは平均値0である次元のないものである。このように数値化することにより、数量のオーダーが著しく異なるものを比較できるようにした。

教師（出力）データの項目は各路線の通行止めになっていた時間とし、分析にはそのままの値を用いた。

4. 分析結果及び考察

上述のデータを用いて行ったニューラルネットワークの学習及び検証結果を図2に示す。この図では○（教師値）と△（学習値）、◇（正解値）と☆（推定値）がそれぞれ重なり合うことで検証程度を表し、マーク同士が近くに有る程精度が良いと言える。学習データでは路線 No.26、検証データでは路線 No.37、40、42などに多少の誤差が見られた。誤差のある路線は渋滞の被害が特に著しかった津幡方面の路線であった。渋滞の原因は車両の立ち往生や交通事故、高速道路（能登有料道路、北陸自動車道）の通行止めによる多数の車両の流入などである。これらは入力項目として評価できなかった要因であったため、不測の事態を考慮していない入力項目の値だけを用いた計算結果と実際の値には誤差が生じたと考えられる。しかし、学習誤差の平均は0.11、検証誤差の平均は0.18であり、全体的には誤差の少ない良好な結果が得られた。ここで言う「誤差」とは絶対誤差のことである。学習させるサンプル数（36）は少ないもの

の、検証データ中の最も大きい誤差は9.5%と小さく、サンプル数の少なさが解析結果に影響を及ぼしていないと考えられる。

実測値（教師値、正解値）に対する計算値（学習値、推定値）のばらつきを図3に示す。同図では破線上に○（学習データ）と△（検証データ）が集まる程精度が良いことを表している。破線より下にマークがある場合は計算値が実測値より小さく、破線よ

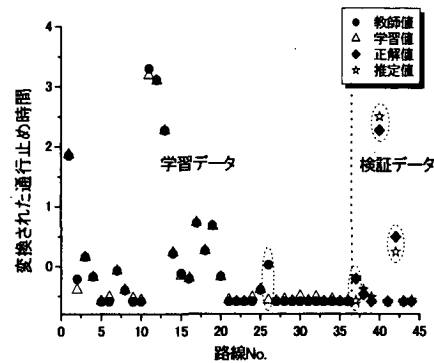


図2 学習及び検証結果

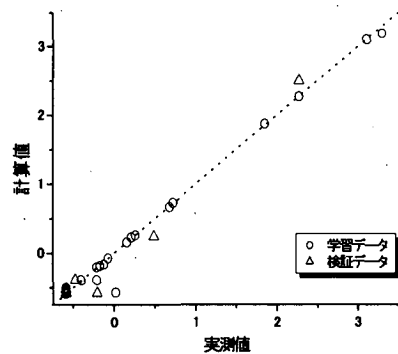


図3 実測値に対する計算値のばらつき

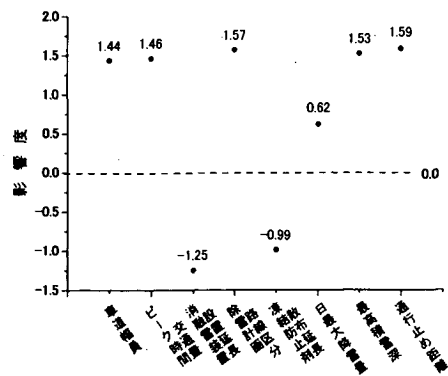


図4 各入力項目の相互関連解析結果

り上にマークがある場合は計算値が教師値、実測値より大きくなっていることを意味している。図より、誤差は実測値より小さめに外出ていることが分かる。これも先程述べた予想外の原因による渋滞が関係しており、計算値は入力項目の値のみで考えたため、実測値より小さくなったと考えられる。

次に、各入力値が出力値に与える影響を相対的に比較するための感度解析を行う。感度解析とは、着目しない項目の値を平均値に固定し、着目する1つの項目値のみを変化させ、そのときの出力値の変化を見るものである。本研究では、変換された入力値の区間内、平均値から $\pm\sigma$ （標準偏差）の区間に注目した。 $\pm\sigma$ の区間を7区間に分割し、各分割区間における出力値の変化量を算出した。これは、 $\pm\sigma$ の区間内にデータの85%以上が入っており、 $\pm\sigma$ 区間内の値の変化を見れば各項目の影響度を表すことができると考えたからである。このとき、各区間の変化量の平均値を感度（影響度）と定義し、入力項目ごとの値を比較することにより入力項目間の関連性を調べた。解析結果を図4に示す。影響度がプラスの場合は、その項目の値が増加すると通行止めの時間も増加し、項目の値が減少すると通行止めの時間も減少する。影響度がマイナスの場合は、その項目の値が増加すると通行止めの時間は減少し、項目の値が減少すると通行止めの時間は増加する。影響度がプラスの項目は6個、マイナスの項目は2個となった。影響度の大きさは通行止め距離、除雪計画路線区分、最高積雪深の順になっているが、求めた感度の中に卓越した結果は見られず、通行止め時間に対し飛び抜けて大きな影響度を持つ項目は見られなかった。また、日最大降雪量は通行止め時間に対してあまり影響を及ぼしていないことが分かった。

車道幅員とピーク時間交通量の相関図を図5、車道幅員の確率密度関数 $f_x(x)$ を図6に記す。

車道幅員については、マイナスの影響度を示す結果になると予想していたがプラスの影響度と評価された。この原因としては、以下のことが考えられる。

- ・ 大雪時、車両は幅員の狭い県道より幅員の広い幹線道路の方に多く集中した。
- ・ 幹線道路に消融雪装置が設置されていない箇所

や正常に稼動していない箇所があった。

- ・ 幹線道路など幅員の広い道路では特に渋滞が酷く、ほとんど機械除雪を行うことができなかった。
- ・ 図6のように、他の入力項目（ピーク時間交通量）と強い相関があり、これが結果に影響した。
- ・ 図7を見ると、収集したデータは入力値の変動幅内に一様には分布しておらず、いかなるパターンにも対応できるような学習が成されなかった。

除雪体制の改善すべき点としては、消融雪装置の設置箇所（延長）の少なさが挙げられる。現在、路線の除雪は機械除雪と消融雪装置のどちらか一方に重点が置かれている。その為、2001年大雪時のように道路が渋滞して機械による除雪作業が一向に進まなかったり、消融雪装置が正常に稼動しない箇所が発生した場合、道路は大混乱に陥る。消融雪装置の増設には新規の敷設及び維持管理の費用といった問題があるが、現状のように機械除雪と消融雪装置のどちらか一方だけで雪を処理しようとするのではな

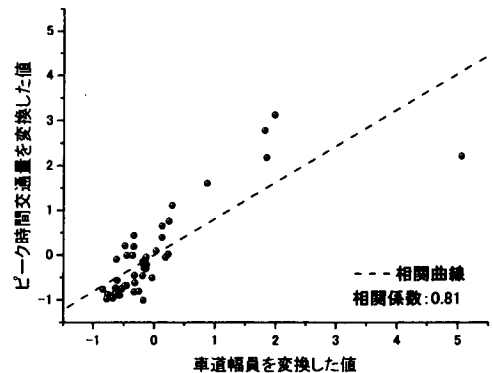


図5 車道幅員とピーク時間交通量の相関図

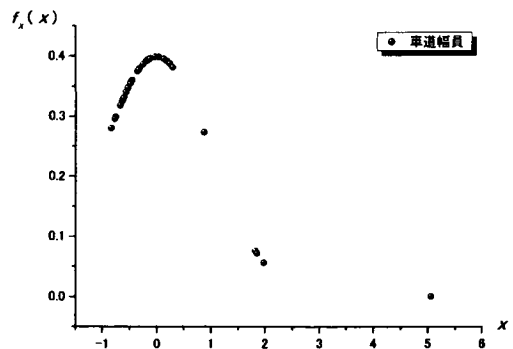


図6 車道幅員の確率密度関数

く、両方を効率よく使う等の考え直しが必要である。通行止めの軽減策としては、各路線の通行車両数（ピーク時間交通量など）の削減及び制限が効果的であると考えられる。また、大雪時の路上（迷惑）駐車やマイカー利用者の数は県が予想していたよりはるかに多く、これも交通渋滞に大きく影響を及ぼした。公共交通機関を利用したり、外出をなるべく控えるといった個人個人の配慮が必要であった。

5. まとめ

本研究では、2001年大雪時に石川県内で生じた通行止めの状況を用い、交通障害の要因分析を行った。雪害という極めて数量的に表しにくい指標に着目し、除雪作業のために道路を通行止めにしていた時間と通行止めに関連のありそうな項目を選出、数値化し、それらを入力項目としてニューラルネットワークに学習させた。また、感度解析を用いて、どの入力項目が出力に大きく影響を及ぼしているかを調べた。求めた影響度から、2001年大雪時の除雪体制の改善

点や通行止めの軽減策について考察した。本解析の結果より、石川県の雪の特性を考慮すると、第1に消融雪装置の増設が、次に各路線の通行車両数の削減及び制限が、対象とした都市間を結ぶ主要幹線路線における通行止め時間の減少に効果的であると言える。さらに、調査を通して、道路利用者の雪に対する意識やマナーといったソフト面の対策も必要であると感じた。

今回の分析では大雪時しか想定していなかったため、今後少雪年や平雪年などのデータを充実、学習させたモデルを考える予定である。

参考文献

- 1) 土木学会構造工学委員会：新しい構造システム最適化手法－人口生命技術の応用－，1996，pp.3-11.
- 2) 堀井雅史：冬期道路における路面凍結予測システムの適用，第19回日本雪工学会大会論文報告集，2002，p.87.