

1. 要旨、概要

マイクロソフト社の表計算ソフト「エクセル」を用いて、米沢盆地の南西に位置する斜平山山塊周辺の立体地形解析を行った。その結果、斜平山山塊がおその沢沿いに大きく断裂して、およそ N20° W の方向に並ぶ峰々の配列方向が西向沼の北側から北東向きに約 500m ずれていることが判明した。この運動の向きは斜平山山塊のおその沢の北東部(おその沢北東ブロックと呼ぶこととする)が北東へずれたことを示しており、断層の運動を考えると、図7に示したように船坂峠を中心として、大樽川右岸の延長線上では左横ずれ、綱木峠への延長線上では右横ずれの共役断層の存在がうかがわれる。これをもたらしたのは東西方向の圧縮応力(池田ほか 2002)と考えられ、低地(米沢盆地)側へ押しつけられた山体に高角逆断層が生じて、その面に沿って低地側から押し上げられて隆起したり、あるいはその面がすべり面となって崩落したりして斜平山山塊の東斜面の地形が形成されたのではないかと思われる。

2. 本地域の地質と地形

まず、斜平山山塊という名称であるが、斜平山という山頂はなく、東側は北から順に御成山、羽山、愛宕山、笹野山、栃窪山、西側は月山(小野川)、天狗山、三郎沢山などこれらの山々全体を斜平山と総称しているようなので、斜平山山塊と呼ぶこととする。地質と地形については以下のようにまとめることができる。

2-1. 本地域の地質層序

斜平山山塊はほとんどが泥岩、砂岩で占められているが、その層序は東西に分けられ、東部が新第三紀中新世初期の綱木川層、西部が中新世中期の小野川層とされている(小野寺 1990)。堆積環境は次第に沈降して深い海へと変化していく綱木川層(礫岩、泥岩、砂岩)、更に深い海へ変化した小野川層(有孔虫化石を産する泥岩、海底火山活動による凝灰岩、水冷破碎岩、火成岩の貫入)とされており、小野川層は綱木川層を整合に覆っている(小野寺 1990、日本の地質「東北地方」編集委員会 1989)。基盤岩については、小野寺(1990)によると約1億年前に貫入した花崗岩とされており、これが隆起し侵食を受けた後次第に沈降して、綱木川層、小野川層を堆積し、その後東西方向の圧縮応力による逆断層運動によって隆起して(池田ほか 2002、山形応用地質研究会 2010)、侵食を受けながら現在の地形に至っているとされている。

2-2. 斜平山山塊の地形

斜平山山塊は、おその沢を流れる大沢川(小野寺 1990、米沢市 2013)によって東西に分かれる。北から順に東部は御成山(452m)、羽山、愛宕山、笹野山、栃窪山(605m)、西部は月山、天狗山、三郎沢山の各山々が並んでいる。おその沢は深く侵食しており、最も高い笹野山(660m)とその西側での大沢川の河床の標高差は 300m に及ぶ。

東部の東側は北から御成山、羽山、愛宕山の山頂直下それぞれ標高 360m~340m、400m~380m、420m~400m の部分に緩斜面、平坦面が北東方向に伸びている。愛宕山から笹野山にかけては、屏風を立てたような急斜面となっているが、これは山体崩壊によって形成された崩落崖(山形応用地質研究会 2010)であり、空中写真(Ⅱ)でもその様子が観察される。この間の崩落した崩積土は標高 440m ないし 460m から笹野町の県道西側に沿う標高 280m 付近まで東西約 1.3km に渡って緩斜面を形成している。笹野山から南方は標高 560m~540m のほぼ平坦な細い稜線となっており、何れも北東方向に延びた笹野本町西側の標高 400m から上の緩斜面、さらに栃窪山への緩やかな傾斜へ続いている。御成山から栃窪山にかけて見られる北東方向の平坦面あるいは緩斜面は、南方へ向かうほどその高度が

増すという特徴がある。栢窪山の南方はジュウニテンの山との接続部に位置する船坂峠に向かって、ほぼ南北方向東落ちの急斜面となっており、三郎沢山山頂の南方へ延びる標高 640m~600m のほぼ平坦な高まりから坪穴西側の標高 380m 付近まで 200m 以上落ち込んでいる。そして、船坂峠を登ったところは立石から関町までを対角線とするひし形様の平坦面が広がっており、大樽川による埋積谷、小規模な氾濫原と考えられる。

西部の東側はおその沢が細く深く侵食しており、大沢川が赤芝で大樽川に合流するまで急斜面が続いているが、大樽川沿いの西側は小野川から立石にかけて崩壊地形(地すべり地形)が多数見られる(山形応用地質研究会 2010)。

東部の西側(大沢川右岸)においては、愛宕山南西部すなわち崩落崖の反対側の標高 500m から 400m にかけて東西約 0.6km に渡って緩斜面を形成している。また、御成山、羽山、笹野山の南西あるいは西南西の方向にも緩斜面が延びている。この方向性は東側と正反対である。笹野山山頂の南西方向標高 500m には凹地もあり、西部西側と同様の地すべり地形ではないかと考えられる(図1)。

3. 問題提起、研究目的

米沢中央高等学校科学部では、昨年から米沢市南西部の斜平山山塊付近の地形・地質調査を行ってきた。米中央科学部(2012)にあるように研究の動機は都市圏活断層図米沢(澤ほか 2011)に引かれた活断層トレースがすぐ身近にあることがわかり、わが町の山の景観を見直してみようと思ったことである。

本調査地域の山地群は、東西方向の圧縮応力がもたらす逆断層運動によって形成されたとされている(池田ほか 2002, 山形応用地質研究会 2010)が、この圧縮によって生じた活断層の中で人の生活空間である都市圏の近傍に活断層がどのように分布するかを示した都市圏活断層図米沢(澤ほか 2011)では斜平山の東山麓を取り巻くように活断層のトレースが引かれており、館山でのトレンチ調査では完新世以降(約 6600 年前以降)の断層活動が確認された(山形県 2002)。しかし、このような新しい断層が斜平山山塊を形成した逆断層とはとても思えず、山体を形成したスラストがどの線上にあるのか考察する必要がある。

スラストフロント マイグレーション:逆断層線の低地側への移動現象(池田ほか 2002)という考え方によれば、低地側の盛り上がりの直近のピークを連ねた線上がスラストであるということになるのか。米中央科学部(2012)は、船坂峠の旧道に立って南北の地形の鞍部を指摘したというところで止まっていた。このうち北方の鞍部すなわち西向沼については今回の地形解析によって、一定の結論が出たと思われるが、南方の鞍部である突抜沢についてはそこまで至っていないと思われ、後の課題の中で述べる。また、米中央科学部(2012)でも表計算ソフト(エクセル)による立体地形解析を行ったが、スラストフロント マイグレーションという考え方により、斜平山山塊の東斜面にのみ囚われ、斜平山山塊全体について解析を行ったわけではなく、地殻変動を捉えるまでに至らなかった。本研究では立体画像作成用の座標を斜平山山塊の周囲に広げ(図2)、標高データ採取間隔を前回より密にして解析を行った。

4. 研究方法

いずれも国土地理院発行で地形図は 1/2.5 万「米沢北部」、「米沢」、「白布温泉」、1/5 万「赤湯」、「米沢」、「吾妻山」、「玉庭」、空中写真は TO-70-4X(昭和 45 年 縮尺:約 1/20000 モノクロ撮影 C11-4, 5 C12-6, 7 C13-6, 7)を使用した。

空中写真判読は反射実体鏡 MS16(SOKKIA)、調査位置の測位は GARMIN ポケナビ(エンペックス)、方位と走向傾斜の測定はクリノコンパス(SHOWA SOKKI)を使用した。

立体画像作成用座標設定の範囲を図2に示した。基図は 1/5 万「米沢」と「吾妻山」を使用し、50m(地形図上 1mm)間隔で標高データを読みとった。このときパソコンの画面上で 500%に拡大し、さらに拡大鏡を用いた。また、1/5 万地形図のため等高線間隔が広がった場合は 1/2.5 万地形図によって補完しながら行った。135 列、200 行の格子点(27000 点:南北 9.95km, 東西 6.7km の範囲)で標高を読みとり(表1)、エクセルで立体画像化してさまざまな方向に回

転させ、視点を定めることにより、地形の特徴が最もよく表れる立体画像の回転角度と俯瞰の角度を探った(長倉ほか 2002)。特に等高線の込み合う山地の部分は平面的な地形図の紙面上ではわかりにくいことが多く、地形を立体化することで見えなかったものが見えてくるということを実感した。また、標高 50m ごとに色分けされるので、傾斜の変化を見るのに有効であると思われる。

5. 結果

図3に立体画像上での山と川などの名称を示した。Xは平面上での回転角度で 270° はN-S方向の真北から見ることになる。Yは俯瞰の角度で 90° は真上から見下ろすことになる。

図4はX= 300° 、Y= 60° の図である。おそらく船坂峠に一直線に向かってくる大樽川右岸のラインは断層線ではないかと考えられ、この線上がほぼ図の上下方向となるように合わせたX= 300° すなわち $N30^\circ W$ の線上で 60° の角度から俯瞰した様子である。一見してわかるのが、斜平山山塊の2本の断裂線である。断層というよりも水平方向の力で引き裂かれたように見える。一本は西向沼からおその沢(大沢川)の流路に沿っている。もう一本は三郎沢山山頂西側の細い沢からほぼN-Sからやや西よりの角度でおその沢と合わせ赤芝へ抜けていく。特に前者は川が流れてから周囲が隆起する場合に川の下方侵食が地盤の隆起速度にうちかかって、以前の流路を維持して形成される先行谷としての横谷とは明らかに異なり、西向沼の北側で山の稜線が北東向きに約500mずれていることから、山体形成されてから生じたものである。約500mという変位量については船坂峠からほぼ北北西に延びる三郎沢山への稜線とほぼ平行に北北西に延びる笹野山から愛宕山にかけての稜線の間隔から推量した。斜平山山塊を構成する泥岩を中心とした堆積岩は珪質なものが多く硬い。これが黒曜石の貝殻状断口のような丸みを帯びた割れ方になっている。

図5はX= 320° 、Y= 70° の図である。この角度に合わせると羽山と愛宕山の間にもほぼE-W方向の断層が見られ、愛宕山の平坦面の付け根の辺りを通っていることがわかる。

6. 考察

今回の結果としておその沢(大沢川)はその流路そのものが岩盤の断裂であることが明らかとなったが、最上流部の沼倉沢(米沢市 2013)は西向沼の標高から100m以上落差のある深い沢である。空中写真Ⅱでは鮮明な線状構造が現れており、これが断層であるとするならば、船坂峠から連続する断層である可能性が高い(空中写真Ⅲ)。西向沼は三郎沢山と栢窪山の間にある周囲が400mほどの沼であるが、流入する沢はなく沼底からの湧水がその水量を保っていると思われる。この湧水が何からもたらされるかを考えると、周辺の山体に涵養された水か、断層に賦存する水かということになるが、前述したようにおその沢北東ブロックが北東へずれたと考えられ、それに伴った陥没地形と思われる地形が沼の南端の三郎沢山側と栢窪山側両方に見られる(地点9写真)ことから、岩盤が北東へ開いたときに形成されたリフトによる陥没地形に水が溜まっているように見えるので、断層破砕帯に賦存する水が上がってきているのではないかと考えられる。よって、これが同時に100m以上の落差のある沼倉沢から流れ出す大沢川の水源となっている可能性がある。

断裂をもたらした応力については次のように考えられる。図6に本調査地の広域的な位置を示した(杉本 2012 の地形図を引用)。本調査地は米沢盆地の南西の角に位置している。南は吾妻山地、西は飯豊山地、北東には蔵王山地、北北西には朝日山地がある。東西方向の圧縮応力による逆断層運動(池田ほか 2002, 山形応用地質研究会 2010)によってこれらの山地群を含むこの図中のほとんどすべての山は隆起して山体を形成した。そして、マグマの活動があった場所は火山となっていた。隆起しなかった場所あるいは周囲より比較的隆起量の少なかった場所は、高まりとなった周囲の山が侵食されて、その土砂が流入して埋積谷となり、その場所の重力の等ポテンシャル面に沿った平坦面を形成して低地(盆地や平野)となった。図6を見ると低地は山地の分布の隙間を埋めるように網の目状に配置されている。山地と低地の境界すなわち山麓線は山地と低地が応力を及ぼし合う断層線とみなされることが多い(池田ほか

2002, 地震調査研究推進本部地震調査委員会 2005, 澤ほか 2011, 八木ほか 2011). 本調査地の船坂峠は米沢盆地南西の角に位置しており, 朝日山地へ向かう北北西方向の山麓線と, 蔵王山地へ向かう北東方向の山麓線の交点に位置している. その山麓線に沿った応力について考えると, 全体的な東西方向の圧縮応力のもとで, おその沢北東ブロックが北東へずれたという運動を考えると, 船坂峠を交点として, 北北西方向の大樽川右岸の延長線上では左横ずれ, 北東方向の綱木峠への延長線上では右横ずれの共役断層を考えることができる(図7). これは藤田(1985)に示されている断層ブロックのでき方のうち押し込んだブロックの方(この場合は東西方向)が傾動隆起したケースと調和的であり, 北は米沢盆地, 南は関の平坦面となっている. 特に岩盤ブロックを断裂させている北北西—南南東方向の左横ずれを生じさせる応力は著しいと思われる.

次に, 斜平山山塊東斜面の地形について考察する. 2-2で述べたように御成山から栃窪山にかけて見られる, 崩積土も含めた北東方向の平坦面あるいは緩斜面は, 南方へ向かうほどその高度が増すという特徴がある. これはおその沢の幅を考えた場合, 上流部分ほどすなわち沼倉沢に近づくほどその幅が広がっており, 北東方向への変位量が大きくなっていると考えられる. そのことはそれだけ低地を押し上げる力が大きくなり, 反作用として山体を下から押し上げる力も大きくなったのではないだろうか. この力が山体東斜面に高角逆断層を生じさせ, その面に沿って低地側から押し上げられるとき隆起量がより大きくなったのではないかと思われる. 愛宕山から笹野山にかけてはこの高角逆断層面がすべり面となって崩落したものと考えられる. このような過程を経て斜平山山塊東斜面の地形が形成されたと考察される.

スラストフロント マイグレーション:逆断層線の低地側への移動現象(池田ほか 2002)という考え方との関連については, 逆断層によって低地側から押し上げられるという点において共通するが, 断裂によるおその沢北東ブロックの水平変位が明らかとなり, これによる作用の方が大きくはたらいたと考えられる. 米中央科学部(2012)は斜平山山塊東斜面の地形の特徴として, 御成山から愛宕山までの平坦面, 緩斜面の上面が愛宕山から笹野山までの崩積土の上面とほぼ一体となった地形面になっていることを指摘し, スラストフロント マイグレーションが起こっているとしたが, 本研究ではこれらの地形面はおその沢の断裂運動によって御成山から栃窪山までの東斜面が低地から押し上げられたことによって形成されたという結論に至った.

なお, おその沢北東ブロックの断裂運動がいつ起こったか, あるいはその水平変位が継続しているのかについては現在のところまったく不明である.

7. 結論と課題

本研究は標高データをパソコンで解析したという内容が主となっているが, 野外調査も行っているため, そのときに撮影した何枚かの写真を後にまとめた(図9). 調査を行って感じたことは, 断層の調査は非常に困難であるということである.

空中写真で断層トレースを確認できても, 深い植生や陰しい地形のために現地での踏査そのものが不可能な場合がある. また, その場に行ったとしてもよくわからないこともある. 例をあげると, 米中央科学部(2012)が船坂峠の旧道に立って指摘した南方の鞍部である突抜沢は, 空中写真Ⅲに示したように西向沼と結んだ北北西—南南東方向の左横ずれ断層と考えられる線上に位置し, 東西の尾根の間に挟まれた底部の幅が 10m ほどで, 北北西—南南東方向に約 200m の緩斜面を形成している. 1/2.5 万の地形図に示されている凹地が特徴的であり, 直径 50cm から 3~4m 深さ 50cm~1m ほどの小陥没がところどころに見られる. そして沢のほぼ中心線上に最大 1.2m ほどの東上がり西落ちの段差が連続しているが, 沢水が流れたような形跡がないので, これは構造的な変位すなわち断層であると考えられる. 考察で述べた藤田(1985)の断層ブロックのでき方によって考えると, 西落ちは関の平坦面の方向ということになるが, 花崗岩からなるジュウニテンの山との関係など不明な点が多い.

また、地形そのものが人工的に改変されていたりすることもあり、空中写真判読で線状構造が見えていても、その場所は造成されて空中写真撮影当時の地形が保存されていないということがあった。

これらの困難さを考えると、今回の地形解析の手法は非常に有効である。断層の研究は地震の発生予測に繋がっていくものとしてとても重要であるが、現在われわれが見ている地形は当然のこととして断層の活動を含む様々な地殻変動の結果であるということを忘れずに今後の研究に励んでいきたい。そして、課題として次のようなことが浮かび上がってきた。結果と考察で述べたように斜平山山塊の断裂とおその沢北東ブロックの北東への変位という現象に、北北西一南南東方向の左横ずれ断層を引き起こす応力が関わっているのではないかと考えたが、この応力が斜平山山塊にだけはたらいたと考えるのは不自然であり、船坂峠の南方から斜平山山塊の北側に位置する少なくとも玉庭丘陵まで同じような断裂と変位の地殻変動が見られないかを調べる必要があるということである。そのような観点で改めて地形の立体画像を見直してみると、本研究の調査地だけでも大樽川左岸の塔之原、下窪、大代原付近から中山越、さらに逆沢方面へと続く断裂構造があるように思われる(空中写真Ⅰ)。また、ひし形に開けた関の平坦面(空中写真Ⅲ)の形成過程も検討の必要がある。本調査地付近には棚倉構造線(棚倉破砕帯)が通っているとされている(越谷 1986, 滝口, 田中 2001, 山元, 柳沢 1989)が、この基盤岩の剪断運動が左横ずれであったという事実と本研究の新第三紀以降の被覆層の断裂運動がどのように関連するのか、断裂の時期も含めて課題が残る(図8)。

8. 引用文献

藤田和夫(1985):変動する日本列島. 岩波新書, 56-57, 81-82.

池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志(2002):第四紀逆断層アトラス. 東京大学出版会, 254p.

地震調査研究推進本部地震調査委員会(2005):長井盆地西縁断層帯の長期評価について. 18p.

(http://www.iishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/22_nagai-bonchi.pdf)

越谷 信(1986):棚倉破砕帯の変形と運動. 地質雑, 92, 15-29.

長倉三郎・松井孝典・梶田叡一ほか(2002):理科総合B 歴史としてみる自然. 東京書籍, 84-85.

日本の地質「東北地方」編集委員会(1989):日本の地質2「東北地方」. 共立出版, 177-178.

小野寺忠男(1990):斜平山の植物. 208p.

澤 祥・石山達也・今泉俊文・岡田篤正・熊原康博・中田 高(2011):都市圏活断層図 長井盆地西縁断層帯 米沢. 国土地理院.

(<http://www1.gsi.go.jp/geowww/themap/view/mapview.php?type=fm&dis=all&name=yonezawa>)

杉本智彦(2012):改訂新版 カシミール3D パーフェクトマスター編. 実業之日本社, 319p.

滝口 潤・田中久雄(2001):山形県南陽市周辺のマイロナイト帯(梨郷マイロナイト帯)の発見と棚倉構造線の北方延長問題. 地質雑, 107, 406-410.

八木浩司・澤 祥・熊原康博(2011):1:25,000 都市圏活断層図 長井盆地西縁断層帯とその周辺「左沢」「長井」「米沢」解説書. 国土地理院技術資料 D1-No.580, 19p.

(http://www1.gsi.go.jp/geowww/bousai/nagai_guidebook1.pdf)

(http://www1.gsi.go.jp/geowww/bousai/nagai_guidebook2.pdf)

同付図3(http://www1.gsi.go.jp/geowww/bousai/nagai_fuzu3.jpg)

同付図2(http://www1.gsi.go.jp/geowww/bousai/nagai_fuzu2.jpg)

山形県(2002):平成13年度地震関係基礎調査交付金 山形県活断層調査総括 成果報告書(概要版). 93p.

各地方公共団体の活断層調査成果報告書(山形県:長井盆地西縁断層帯). 地震調査研究推進本部.

(<http://www.hp1039.iishin.go.jp/danso/Yamagata5frm.htm>)

(<http://www.hp1039.iishin.go.jp/danso/Yamagata6frm.htm>)

山形応用地質研究会(2010):山形県 地学のガイド 山形県の地質とそのおいたち. コロナ社, 228-233.

山元孝広・柳沢幸夫(1989):棚倉破砕帯の北方延長に関する新知見—山形県米沢市南西部の先新第三紀マイロナイト—. 地調月報, 40, 323-329.

米沢中央高等学校科学部(2012):米沢盆地西縁断層南部の地形. 第56回日本学生科学賞山形県審査出品作品.

(<http://www.ychuo-h.ed.jp/club/science/h24sakuhin4.pdf>)

米沢市(2013):米沢市都市計画総括図.

9. 謝辞

先ず, 正確な地形図に感謝したいと思います. また, マイクロソフト社のエクセルは, 標高データを入力するだけで, 立体地図ができるという機能があり, たいへん役立ちました. さらにそれを高校教科書の内容として取り上げていただいた東京書籍「理科総合B」(長倉ほか 2002)の執筆者の皆様にも感謝申し上げます.

野外調査を行ったときは, 行く先々で貴重なご助言をいただきました. 船坂峠を挟んで斜平山山塊の南南東にある標高 633.8m の山は頂上に三角点のマークがあるものの山の名前の記載がなく, 何という山なのかと思っておりましたが, 調査の際に麓の坂下集落の方にお聞きしたところ, 「ジウニテンの山」(漢字表記不明)という名称と東から順に水神の沢, 境の沢, 突抜沢という沢の名称を教えてくださいました. また, 造成されたリンゴ園で断層線を追っていたとき, 作業中の方から造成前の地形を教えてくださいました. 空中写真撮影(1970年)の2~3年後に地形が変えられたということでした.

さらに, 船坂峠新道の計画段階で麓の坂下から立石までトンネルを通すことが立案されていたということ, 事前の調査ボーリング等により出水が非常に多いことがわかったため断念せざるを得ず, 大きくUの字に回って, 稜線の上の部分のみトンネル(平成9年完成, 船坂トンネル;全長 168m)を掘削するという計画変更がなされたということをお聞きしました. 断層破砕帯からの大量出水がトンネル工事をたいへん困難なものにするということは度々聞くことであり, 船坂峠が断層崖であるという今回の結論を裏付ける貴重な情報となりました. これらの貴重なご助言をいただかなければ, この作品はできなかつたと思います. 感謝申し上げます.

10. 図表・画像

次のページから示します.

本作品の図表は国土地理院長の承認を得て, 作成した複製品, 成果品である.

承認を得て作成した複製品, 成果品を第三者がさらに複製又は使用する場合には, 国土地理院長の承認を得なければならない.

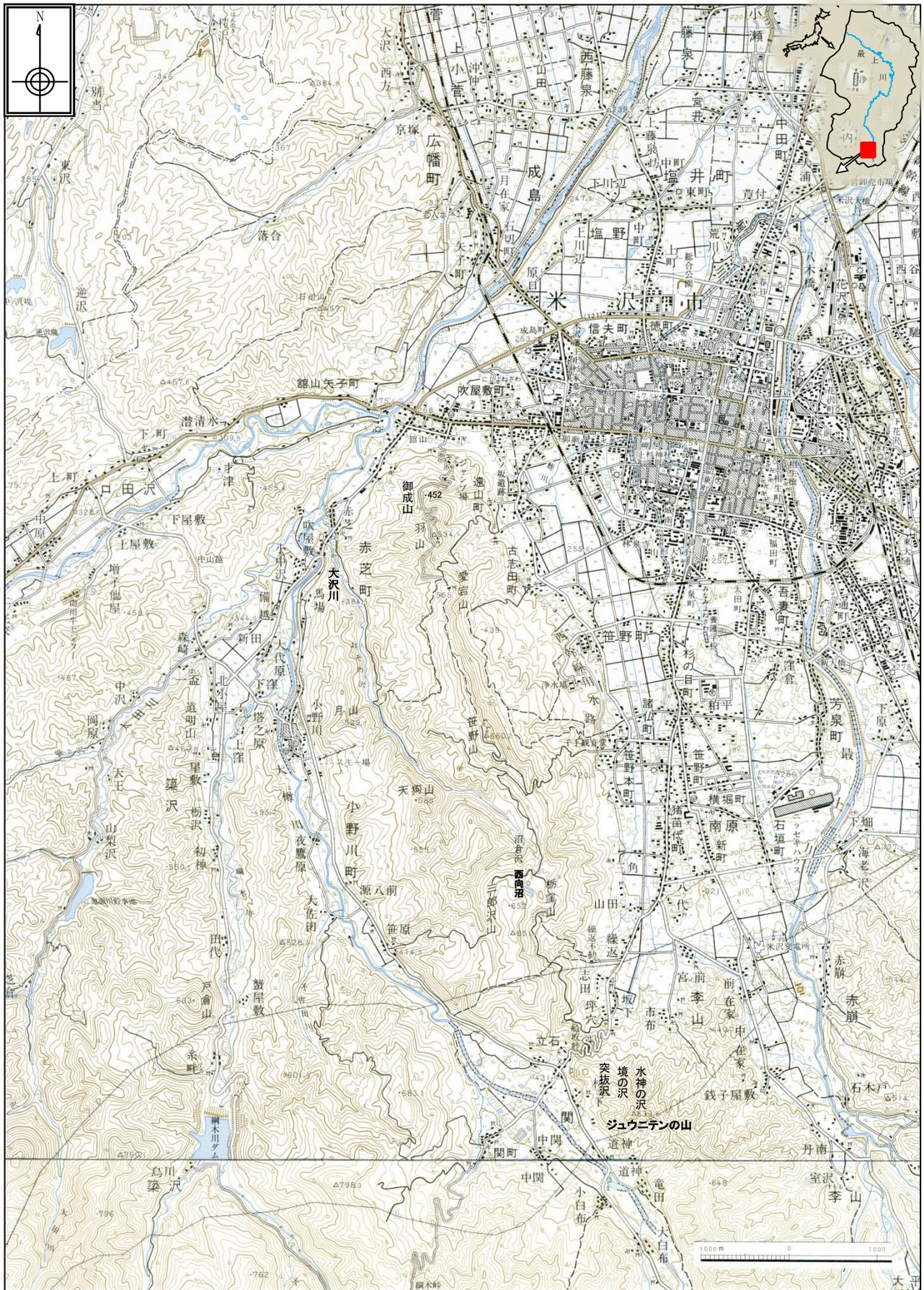


図1. 調査地域

「この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の5万分1地形図を複製したものである。(承認番号 平25情複, 第643号)」

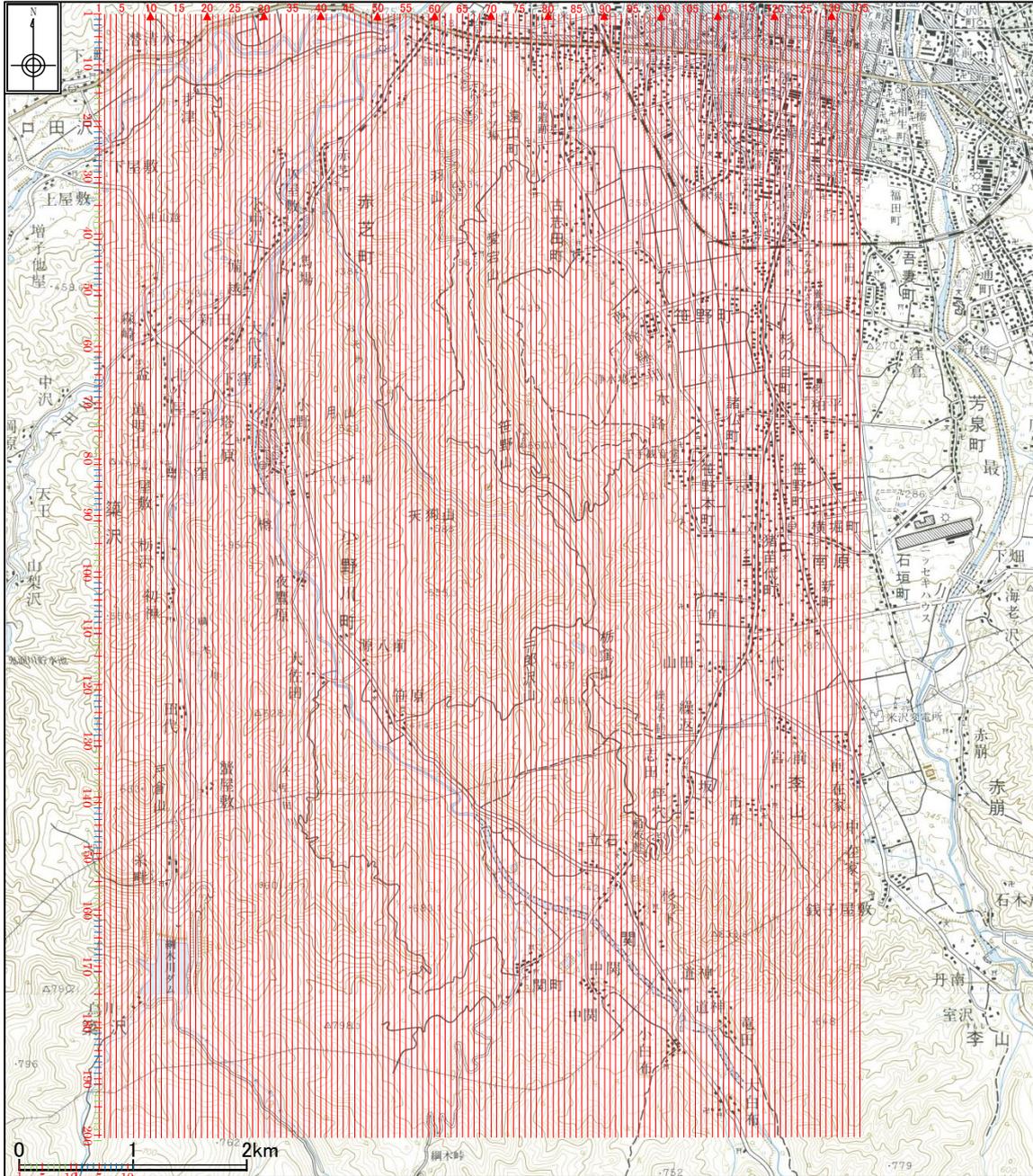


図2. 立体画像作成用座標設定の範囲

(国土地理院 1:50,000「米沢」, 関町-道神-丹南の線以南は「吾妻山」より引用)

: 等高線判読用目盛り

「この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の5万分1地形図を複製したものである。(承認番号 平25情複, 第643号)」