

21. 新潟平野

－海岸砂丘列で閉ざされた一大後背低地

1. 平野の地形と開発

新潟平野は海岸砂丘列によって閉ざされた大きな後背低地状の平野で、その名が示すように潟や潟起源の低湿地が数多く見られます。潟とは海が内陸に閉じ込められてきた湖沼で、その周辺には海面近い標高の凹地状低湿地が広がります(図1)。

冬の強い季節風による波が荒い日本海沿岸では、多量の砂が浜に打ち上げられて砂の高まり(浜堤)がつくられます。この砂は風に動かされて積み上がり、砂丘に変わります。海浜での堆積の進行により海岸線が沖に向かって前進すると、新たな浜堤が海岸線に沿ってつくられ、以前の浜堤は内陸へと退いていきます。海面が低下すると沖にあった沿岸砂州が陸化して砂丘に変わります。新潟平野で

は、こうしてつくられた砂丘列が多いところでは10列、全体の幅が20kmにもなっています。風砂は斜面を登って砂を積み上げるので砂丘は高くなり、標高は最大で30mあります。最も古い砂丘の形成は約6千年前で、縄文前期の土器が出土します。平野に流入する河川の出口はこの海岸砂丘列によって塞がれるので、まっすぐに海へ流入することができません

新潟平野は褶曲運動による地殻の沈降域にあたっています。沈降の速度は大きく、年に10mm近くにも達しています。このため平野の地盤高は低く、また、沖積層の厚さは大きくなっています。沖積層厚は日本の平野中最大で、最も厚いところでは170mもあります。沈降の進行により、内陸に位置する古い砂丘は部分的に地表下に埋没して断続的になっています。また、平野周辺の低い段丘も埋没して、その分布はわずかです。

近年では地下水の過剰揚水による地盤沈下が、平野の地盤高を更に低くしています。揚水は地下水中に溶存しているメタンなどの採取のために行われ、1957年ごろがその最盛期でした。地盤沈下は含水層の圧密により起こり、一度生じたら回復しません。

このように新潟平野は、砂丘列による海岸部の閉塞と平野基盤の急速な沈降とにより、信濃川・阿賀野川という大河川が流入して多量の土砂を供給しているにもかかわらず、非常に低湿な平野となっています。約6千年前の海面上昇期(縄文海進期)には、平野北半部は海で、長い砂州により閉ざされた潟湖があったと考えられています(図2)。その後の海面低下と信濃川などによる土砂堆積により次第に陸化しましたが、地盤高は低くて多数の潟が残存してきました。

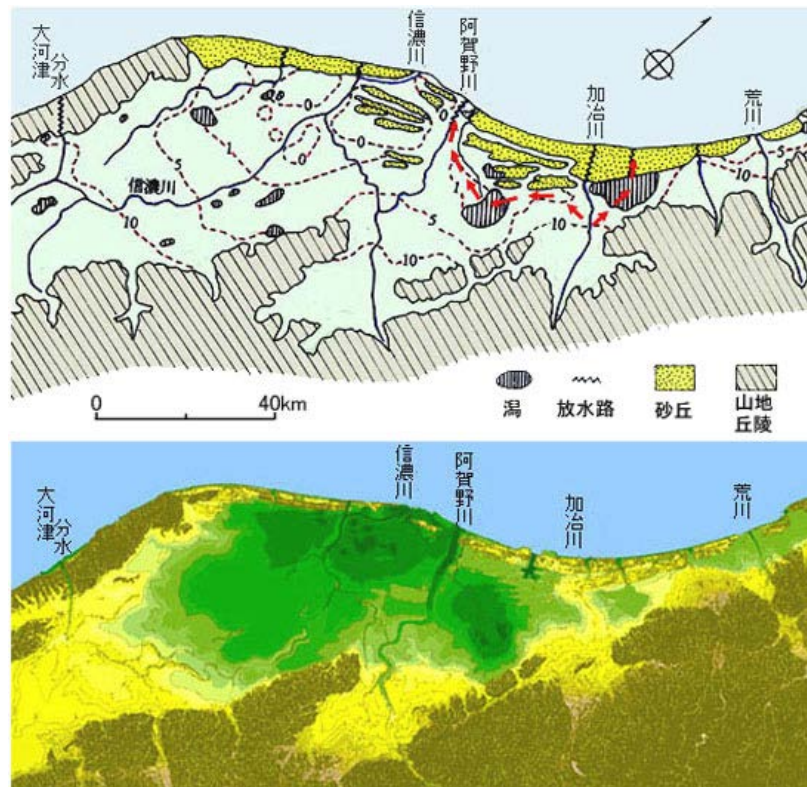


図1 新潟平野の地形・水系

図示した潟は江戸時代の初期に存在したもので、大部分は干拓自然状態で直接海に流入していたのは信濃川と荒川。赤矢印は1966年洪水の主流向。下の図は同一地域の標高を色分けで示したもので、緑色の最も濃い部分は標高0m以下

この低湿な平野の開発は江戸時代前期になって始められ、潟はほとんど干拓されました。現在残っている水域はわずかですが、排水条件の悪い凹状の地形はなおも現存しています。主要な潟には、鳥屋野潟(広い水面存在)、福島潟(ほぼ干拓)、紫雲寺潟(1733年干拓)、鎧潟(1966年全面干拓)、八丁潟(明治前期までに干拓)などがあります。

平野開発前において、海へ排水する出口(河口)を持っていたのは信濃川と平野北端の荒川だけで、それ以外の河川は砂丘列の間や背後を通過してこれら2河川に合流していました。現在では、砂丘列や丘陵を横切る14本もの放水路(開削水路あるいはトンネル)がつくられて、海への直接排水を行っています。流路延長が日本最大の信濃川では、1922年に地すべり丘陵を開削して大河津分水が設けられ、洪水の大部分はここから日本海に排水されるようになりました。また、大河川の阿賀野川が放水路および水門により信濃川と分離されたので、平野中央部における洪水の危険は大きく低下しました。大河津分水の通水後には、信濃川下流における洪水位が2m程度低くなったとされます。

このような特質の平野における特徴的な災害は、潟性の低湿地に長期間滞留するという形態の洪水氾濫、および海岸砂州地帯とくにその後背地における地震時の砂質層液状化です。

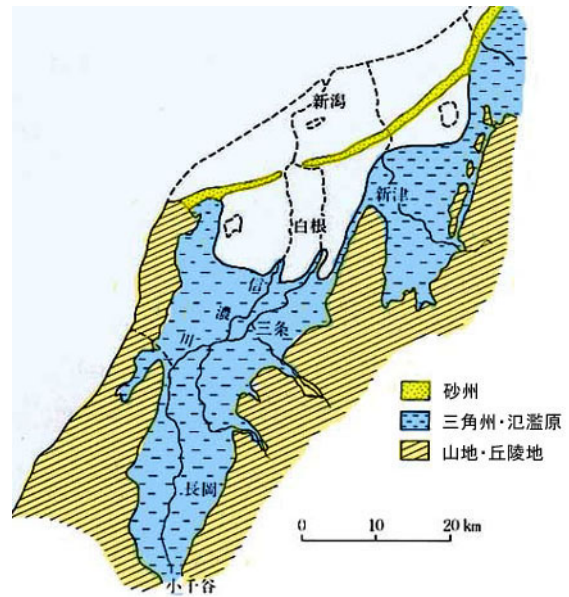


図2 6千年前ごろの新潟平野 (貝塚ほか, 1985)

2. 潟性平野の洪水

新潟平野の北部、北蒲原地方を流れる加治川は、河道がS字状に屈曲する西名柄(左岸)と向中条(右岸)において、同一個所が2年連続して破堤しました。氾濫水は沿岸の砂丘列によって海への排水が妨げられ、福島潟低地など潟起源の凹地に流入して長期間滞留しました(図3)。排水を促進するために、破堤地点から20km離れた阿賀野川(流域面積8位の大河川)の堤防を開削するという非常手段もとられました。近年では、1998年8月に前線豪雨によって福島潟周辺低地が広く浸水しました。



図3 加治川の1966年氾濫域

加治川の右岸には、かつて広大な紫雲寺潟がありました。落堀川放水路により1732年に干拓され水田に変わっています。左岸側には、阿賀野川との間に福島潟があります。これはほぼ干拓されて残っている水域はわずかですが、周囲には標高ゼロメートル以下の低地が広がっています。

かつて加治川水系を構成していた諸河川は、海への出口を砂丘列によって阻まれて、左右に流路をとり紫雲寺潟や福島潟などに流入していました。加治川はその名が示すように、さまざまな治水工事が古くは14世紀ごろから加えられてきており、流路の変遷はめまぐるしいのですが、現在のように砂丘列を5kmにわたり掘り割って分水路がつくられ、直接日本海に流入するようになった

のは、1917年(大正6年)のことです(図4)。

このような河川が砂丘列背後において氾濫した場合には、洪水流は現河道から離れ、以前の河道沿いの凹地をたどって渦起源の低地に流入して、長期間の湛水を見ることとなります。海岸に砂丘がつらなり、内陸が広い後背低地状になっている平野としては他に、庄内平野、秋田・能代平野、津軽平野、石狩平野、天塩平野などがあります。これらはすべて日本海沿岸です。規模の小さい渦性の海岸低地は、太平洋岸も含め日本各地にあり、数多くの浸水危険地をつくっています。

1966年、1967年と連続した加治川破堤は、河道がS字状に屈曲して洪水流が突き当たる水衝部に生じた(写真1)。屈曲部の外カーブ側には、洪水の衝撃が加わると同時に、遠心力に振られて水位が上昇するので、堤防の決壊・破堤が生じやすいのです。前年(1966年)の洪水でこれら2箇所の水衝部が破堤したので、直線河道に改修する工事が工期2年で進められていました。このため仮堤防の状態にあったので、1年後の洪水で再び同一箇所が破堤しました。新設の直線河道内に位置することになった西長柄の集落は500m西方に移転しましたが、再び洪水の直撃を受けることになりました。破堤氾濫が生ずると、その上流部河道内の洪水流の流速は大きくなるので、上流にある水衝部では警戒を強めねばなりません。破堤の時間差は、66年洪水で5時間、67年洪水では30分でした。

左岸側の破堤口から溢れた洪水流の主流は、自然堤防および盛土の微高地上に立地している新発田の市街地を迂回して流れ、砂丘列によって行く手を阻まれて南西に向かい、福島潟の低地に流入しました。写真上で左上に続く白っぽい部分は土砂堆積地および浸水域で、地盤高のわずかな差が色調によく示されています。浸水域の中央にある水路は、かつては加治川本流であったこともある新発田川です。現河道沿いは地盤高が高くなっていることが、黒っぽい色調からよく認められます。その比高は4mもあります。右岸破堤口からの氾濫流は、自然堤防の間の凹地をまっすぐに流下して、現在は干拓されている旧紫雲寺潟の低地に流入しました。

洪水が流入した渦性低地は、排水条件が非常に悪い凹状低地であるため、66年の水害時には湛水日数は右岸側で15日、左岸側で19日に及びました。福島潟の排水河川である新井郷川の河口近くには、当時は東洋一ともいわれていた規模の排水機場が設置されていたのですが、排水をさらに促進するために阿賀野川堤防開削という非常手段がとられました。新井郷川堤防も4箇所開削されました。

加治川流域では、1913年(大正2年)の大洪水後は、1966年までの53年間豪雨はなくて、大きな

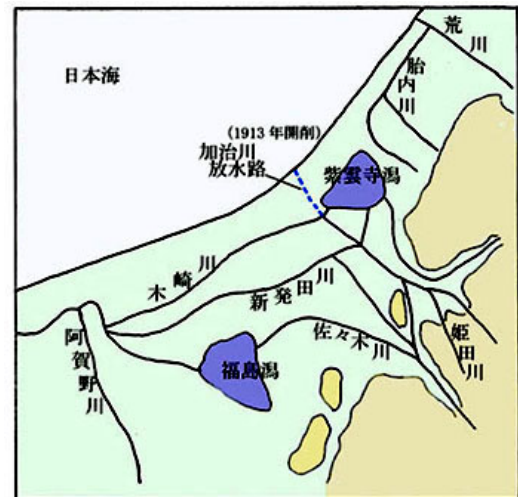


図4 加治川の河道変遷
(高橋・宮村, 1970)

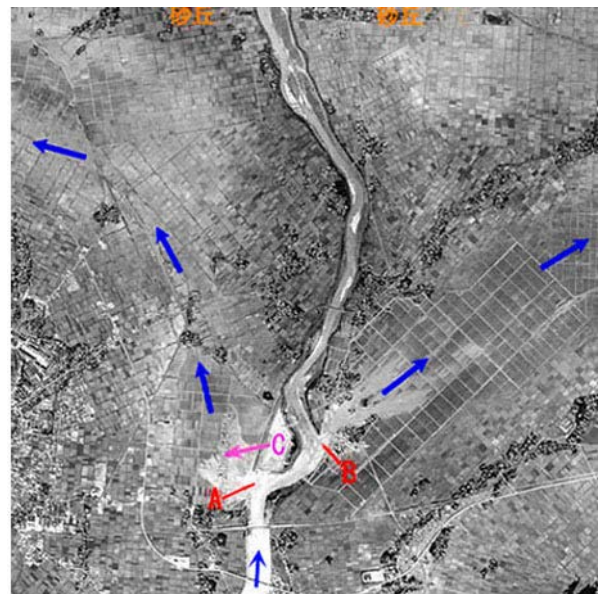


写真1 1967年加治川破堤氾濫
(国立防災科学技術センター撮影)
A, B: 破堤箇所, C: 直線河道に工事中で、
ここにあった集落は矢印の先に移転

災害はありませんでした。この間の1952年からは、計画洪水流量を毎秒2,000トンとする河川改修が進められていました。この進行過程で、最大流量が毎秒2,300トンと推定される出水により破堤が生じました。このため計画流量を毎秒3,000トンに引き上げて工事にとりかかった矢先に、最大流量3,200トンの洪水が発生して、2年連続の災害を被りました。

短期間の観測データに基づく確率計算によって、ある流量の洪水が50年とか100年といった長い期間に1回しか起こらないとされたとしても、実際にそのような期間を経て起こるということの意味するものではありません。自然現象の発生の不規則性ということのほかに、流域の土地利用変化や河川改修は、同じ雨量であっても最大流量を大きくして既往最大値を更新させる働きをします。

大河津分水の分岐点から約10km上流(長岡の約10km下流)までは、扇状地性の平野(長岡平野)です。また、平野東面の山地・丘陵から流れ出す河川は出口に小規模な扇状地をつくっています。この勾配がやや大の地形域における河川氾濫では、流れが強い洪水が生じて建物の破壊などをもたらします。最近では、2004年7月に五十嵐川・刈谷田川などが氾濫して、三条市・見付市・長岡市などで多数の建物損壊被害が生じました。

3. 新潟地震

3.1 災害概要

1964年6月16日に発生した新潟地震は、液状化の典型例として挙げられる災害です。震源は新潟市の北北東50kmの粟島南西沖、深さ34kmで、マグニチュード7.5、震度は新潟市・酒田市・仙台市など広い範囲で5、山形南部沿岸で局地的に6でした(図5)。震源東方で海底は最大6m隆起し、これにより生じた津波は本震の約15分後から日本海沿岸各地を襲い、最大波高4.5m(最大遡上高約6m)を記録しました。日本海沿岸の水準点は10年ほど前から急速に隆起し、それがほぼ停止した直後にこの地震が発生したので、予知に役立つ現象ではないかと注目されました。震源に近い粟島ではおよそ1mの隆起が生じ、一方日本海沿岸は10~20cmほど沈降しました。

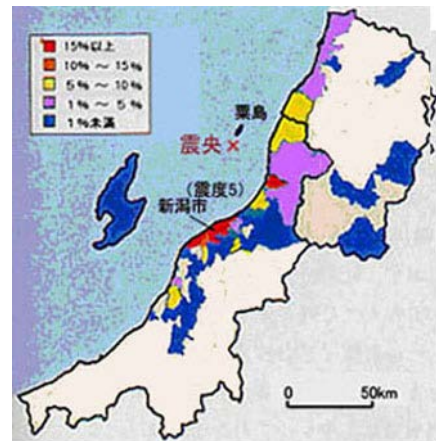


図5 新潟県下の住家被害率
(新潟県資料)
×：震央(M7.5)

被害は新潟・山形を中心として東北・中部・関東・中国の9県に及び、被害総数は死者26、住家全壊1,960、半壊6,640、全焼290、浸水15,300などでした。住家浸水は津波によるもので、大部分が新潟県北部沿岸で生じました。住家全半壊率が大きかったのは、新潟平野北部の水原町(9%)、中条町(5.5%)、神林村(5%)などでした。住家全半壊数が最も多かったのは新潟市(震度5)で、多数のビルが沈下・傾斜・転倒して目を惹き、この原因となった砂質層液状化が一躍注目されるようになりました。ただしこれ以前にも、濃尾地震や関東地震など沖積平野が強震域に入った地震のたびに、広く液状化は発生しています。2011年東北地方太平洋沖地震では、利根川下流部の潟起源低地や東京湾沿岸の埋立地において、さらに大規模な液状化被害が発生しました。なお新潟地震当時では、液状化ではなく流砂現象やクイックサンドなどの表現が用いられていました。

死者数26は、建物被害規模のわりに少ないものでした。震動の直接作用による建物の破壊は強い揺れの続く数10秒ほどの短時間に起こるのに対し、液状化による建物の傾斜や沈下は数分以上とより長い時間かけて進みます。したがって、液状化では人的被害はほとんど生じません。信濃川河口部の製油所では石油タンクが炎上し、鎮火までに半月を要しました。火災は周辺住宅地に延焼して、286戸が全焼しました。この地区はゼロメートル地帯で、同時に津波にも襲われています。

3.2 砂質層の液状化

砂丘列が連なる新潟平野とその北の庄内平野では、地下水で飽和した砂質層の液状化による被害が、広範囲にわたり生じました。新潟市周辺地域では、通船川(阿賀野川旧河道)沿いの帯状域、信濃川の旧河川敷埋立地、沿岸砂丘後背地および砂丘間凹地で、液状化が集中発生しました(図6)。これらの地形は砂質層で構成され地下水位が高いところです。液状化被害の最も著しかった新潟市内では、多数の鉄筋コンクリート建物が、上部構造にほとんど損傷を受けないまま傾斜や沈下を起し注目されました。容積が大きくて重い建築物や構造物は液状化の影響を受けやすく、液状化砂層中に傾斜して沈み込んだり、浮力が働いて浮き上がったります。

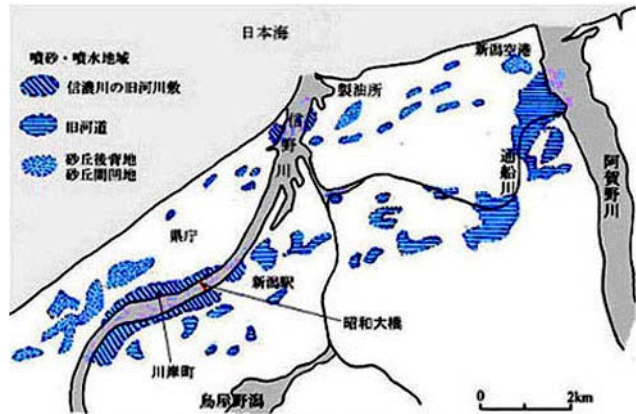


図6 信濃川・阿賀野川下流域における液状化発生箇所(新潟県資料)
旧河道・旧河川敷、砂丘後背地、砂丘間凹地で集中発生

新潟市における木造家屋の被害率は2%であったのに対し、鉄筋コンクリート建物の被害率は20%と10倍にもなりました。被害を受けた鉄筋コンクリート建物の90%は液状化による地盤変形が原因であり、その2/3は上部構造が無被害でした。地盤の上に載っているだけの軽量の木造建物には液状化の影響は比較的小さいのですが、地割れや不等沈下が家の真下で生じた場合には、やはり変形し破壊を受けます。

信濃川では1922年に河口から100 km地点で日本海に向け分水路がつけられたので、その下流において従来ほどの河幅が必要でなくなりました。新潟市内では昭和以降に信濃川河川敷の埋立てが進められて河幅が以前の1/3にまで狭められ、元の河川敷は市街地化されました。この地区で生じたビルや橋の被害は、現在でも液状化被害の典型例とされています。川岸町の埋立地では3~4階建ての県営アパート7棟が、全く損傷を受けないまま傾斜し、うち1棟はほとんど横倒しになりました。しかし窓は開閉できる状態であったので、中にいた人はケガなしで脱出できました。建物は10年前につくられ、構造は壁式鉄筋コンクリート造の布基礎で、直接砂層の上に載せられていました。

地震は新潟国体終了の5日後に起こったのですが、この開催にあわせて建造され1カ月前に竣工したばかりの昭和の大橋は、川底砂層の液状化による橋脚の移動によって橋桁10スパンのうち5スパンが落下しました。川底にはN値10以下の締まりのゆるい砂層が厚さ10 mほどあり、これが液状化したと推定されています。N値は砂の締まりの程度を示す値で、深さほぼ20 m以内にあるN値10以下の砂質層が液状化を起しやすくとされています。川岸の液状化層は川の方向に向け流動を起したので、信濃川の川幅は最大で20 mも狭くなりました。信濃川の旧河道に位置する新潟駅では、鉄道路盤やプラットホームが大きく波うち、跨線橋の1つは落橋しました。

この地震の3カ月前に起きたアラスカ地震(M9.0)により、アンカレッジ市内において液状化が原因で大きな地すべりが発生し、海岸が海に向かって150 mもせり出しました。この地震および新潟地震により、液状化が世界的に注目されるようになりました。

沿岸砂丘列がよく発達している日本海沿岸の地震では、液状化被害がとくに目立ちます。秋田県沖を震源とする1983年の日本海中部地震(M7.7)では、能代平野および津軽平野において大規模に液状化が発生し、住家全壊1,570戸のほぼすべてがこの液状化によるものでした。新潟市の南西60 kmを震源とする2007年中越沖地震(M6.8)では、死者15、住家全壊1,331、半壊5,778などの被害の大部分が液状化により生じました。

3.3 火災・津波

信濃川河口部右岸のゼロメートル低地に立地する昭和石油・新潟製油所において石油タンク5基が火災を起こし、うち1基は2週間燃え続け、黒煙が新潟市上空を覆いました。出火の原因は、震動により原油が大きく揺れるというスロッシング現象によって、タンクの浮屋根が側壁に衝突し、火花が発生して着火したものです。津波および液状化の噴水により敷地がすでに浸水していたところへ、配管損傷によりガソリンが漏れ出て5時間後に着火し、これが水面上を拡散して周辺の住宅を焼失させました。スロッシングによる石油タンク火災は、東日本大震災など大きな地震のたびに起こっており、コンビナート地震対策の重要な問題になっています。石油コンビナートは液状化の最も起きやすい海岸埋立地に立地するので、液状化対策は重要です。

信濃川河口で高さ1.8mを示した津波は河川内を遡上して、ゼロメートル地帯のある新潟市の河岸低地に侵入し、9,800戸が浸水しました。浸水の期間は最大で1カ月に及びました。

日本海東縁部にはプレート境界があるとされており、1964年新潟地震はここで発生した地震の1つです。新潟平野と周辺域にはプレート境界とほぼ平行して、北北東～南南西の方向の長岡平野西縁断層帯・十日町断層帯・櫛形山脈断層帯・月岡断層帯などの活断層が走っています。この領域はひずみ集中帯とされ、地震の危険がかなり大きいところです。

貝塚ほか(1985)：日本の平野と海岸。日本の自然4，岩波書店。

高橋 裕(1971)：国土の変貌と水害。岩波書店。

高橋 裕・宮村 忠(1970)：加治川水害の意味するもの。水利科学73。

新潟県(1965)：新潟地震の記録－地震の発生と応急対策。

阪口ほか編(1986)：日本の自然3，日本の川。岩波書店。

防災基礎講座：地域災害環境編

http://dil.bosai.go.jp/workshop/06kouza_kankyo/

公開：平成28年10月

国立研究開発法人 防災科学技術研究所 自然災害情報室

文責：水谷武司(客員研究員)