

## 第2章 白竜湖軟弱地盤の成り立ちと歴史

これから述べる白竜湖軟弱地盤は、グリーンタフの上に極めて厚く堆積した国内有数の軟弱地盤である。軟弱層の厚さは100mを超える。地表部は現在では水田の耕土が入れられているが、その下は高有機質土（泥炭）が数mの厚さで堆積し、以下粘性土と有機質土と砂質土がどこまでも互層を成している。東北中央自動車道は、この軟弱地盤のほぼ中心部を延長約3kmに渡って通過する計画であった。

我が国における高速道路の建設史上、これだけの深さの軟弱地盤に対峙するのは初めてである。今までは、軟弱層を改良したり、置き換えたりしてしまえば良かったが、白竜湖軟弱地盤では、「さらにその下が沈下するのではないか」という懸念が常に付きまとう。本稿は、この白竜湖軟弱地盤の上に如何に高速道路盛土を構築すべきか、検討した結果を整理したうえで、いくつかの問題を提起する内容となっている。

本章では、検討の対象とした白竜湖軟弱地盤が、これまで多くの知見が積み重ねられてきた海や湖で静かに堆積してできた粘土地盤とはその生成過程がやや異なっていることを示す。まず、第1節で現在の白竜湖軟弱地盤の概況を俯瞰する。そのうえで、第2節で白竜湖軟弱地盤の基盤岩の成り立ちから湿原状態の軟弱地盤ができるまでを振り返る。そして、第3節では、農作業の始まりから、区画整理事業により現在の水田地帯が出来上がるまでを概観する。

なお、白竜湖周辺の軟弱地盤に関しては、国道や水路の整備のための地質調査が実施されているが、調査結果を整理した文献はほとんど残されていないようであった。また、過去には学術的な調査も実施されているが、その内容を十分に把握することはできなかった。

### 2-1 概況

白竜湖 (38.057°N, 140.179°E) は, 山形県南陽市の赤湯温泉から北東に約 1.5 km, 米沢盆地の最北東端にある小さな湖沼である (図 2-1). かつて付近一帯は広大な湿原地帯で, 水田化された現在でも大谷地という呼び名が残っている [1]. 本研究が対象とする軟弱地盤は, 現在の白竜湖の南側約 3km の範囲に位置している. 白竜湖の周囲は約 10 万年前から湿原化が進み, 大小あった湖沼が湿原に変化して, 最後に白竜湖が残ったものとされる [2]. 東北中央自動車道の工事関係者の間には, この小さな湖の名に因んで当該の軟弱地盤に対して「白竜湖軟弱地盤」という呼称が定着している [3].

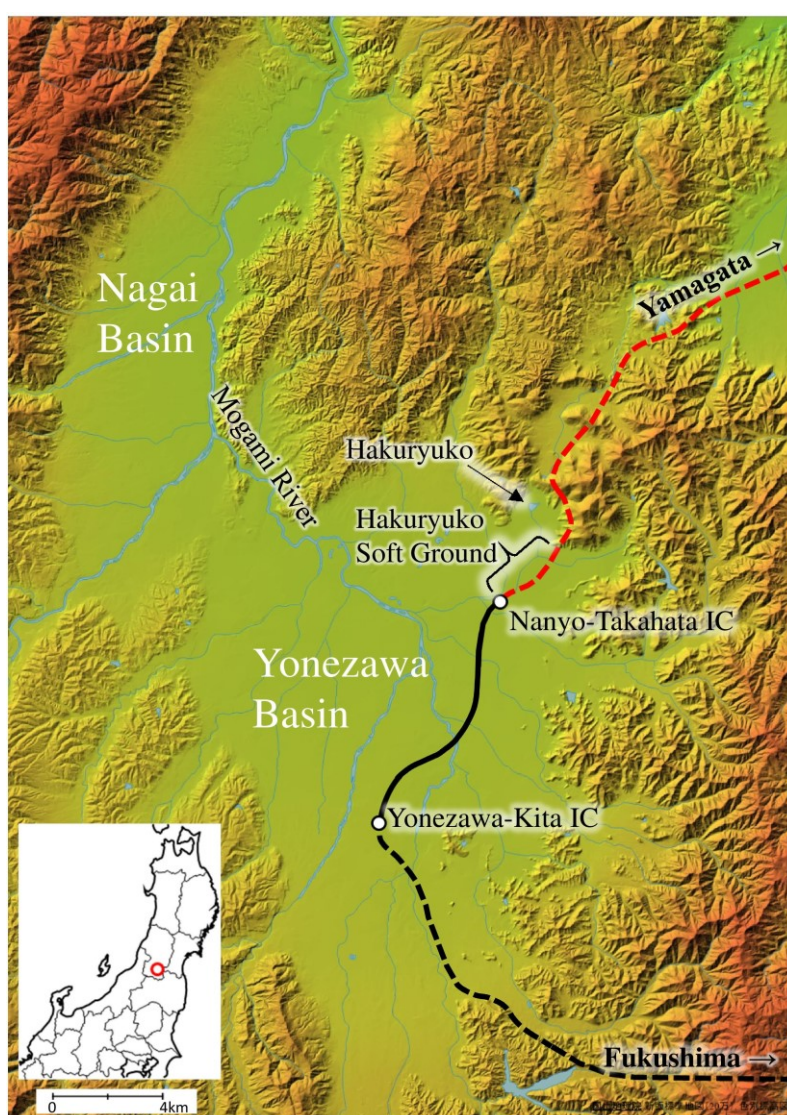


図 2-1 位置図 (国土地理院の色別標高図を用いて作成)

米沢盆地の北東端、白竜湖からさらに北東に丘陵地帯を越えると、山形盆地に至る。また、米沢盆地の北西部は長井盆地に続く。米沢盆地と長井盆地を結ぶ最上川は、山形県内を蛇行しながら北上し、秋田県境の手前で北西に進路を変えて日本海に至る。図 2-2 に、白竜湖周辺の説明図を示す。南陽高畠 IC 付近で、北から流れてくる吉野川に東から屋代川が合流している。白竜湖軟弱地盤は、2つの河川の合流点と丘陵地帯との間に広がる。東北中央自動車道は、南陽高畠 IC から白竜湖軟弱地盤の中央部をほぼ最短距離で通過する。吉野川は、その南陽高畠 IC の手前で北から西に大きく南陽市の市街地を包み込むように進路を変えている。そして、この後複数の河川と合流しながら最上川に流れ込む。この不自然な流路を持つ吉野川は、現在でも時折氾濫を繰り返している。白竜湖軟弱地盤が形成される過程で、このような氾濫や河道の移動などが繰り返されたはずである。

また、図 2-2 には、活断層の想定位置を示してある。市街地のすぐ北の丘陵地際に、JR 奥羽本線とほぼ平行に 2本の活断層線が想定されているが、東北中央自動車道は偶然にもこれを避けるように計画されている。一方、福富ら<sup>[4]</sup>は、赤湯温泉の地下の凝灰岩層中に無数の断層があることを指摘している。白竜湖軟弱地盤の基岩は同じ凝灰岩層のはずである。実際に地元の方々には「以前は白竜湖周辺で温泉が湧き、湯気が上がっていた」と話す。この話を裏付けるように、白竜湖から南東に約 2.8km の水田の中には営業中の天然温泉の宿泊施設 (38.038 °N, 140.200 °E) がある。



図 2-2 白竜湖軟弱地盤の周辺状況 (国土地理院標準地図, 都市圏活断層図を用いて作成)

## 第2章 白竜湖軟弱地盤の成り立ちと歴史

図 2-3 は、白竜湖の北東に位置する十分一山 (38.064°N, 140.193°E) から南方を撮影した写真で、図 2-4 はその説明図である。右端に写っている白竜湖の標高は約 210m で、撮影地点の標高は約 520m である。白竜湖の奥の赤湯の街並みと水田との間に国道 13 号が通っていて、その先に南陽高畠 IC がある。国道と左の丘陵地帯との間の水田地帯が軟弱地盤である。丘陵地帯から水田に向けて試験工場の現場が写っている。この水田地帯の中を南陽高畠 IC まで工事範囲を伸ばさなければならない。



図 2-3 白竜湖軟弱地盤の周辺状況の写真

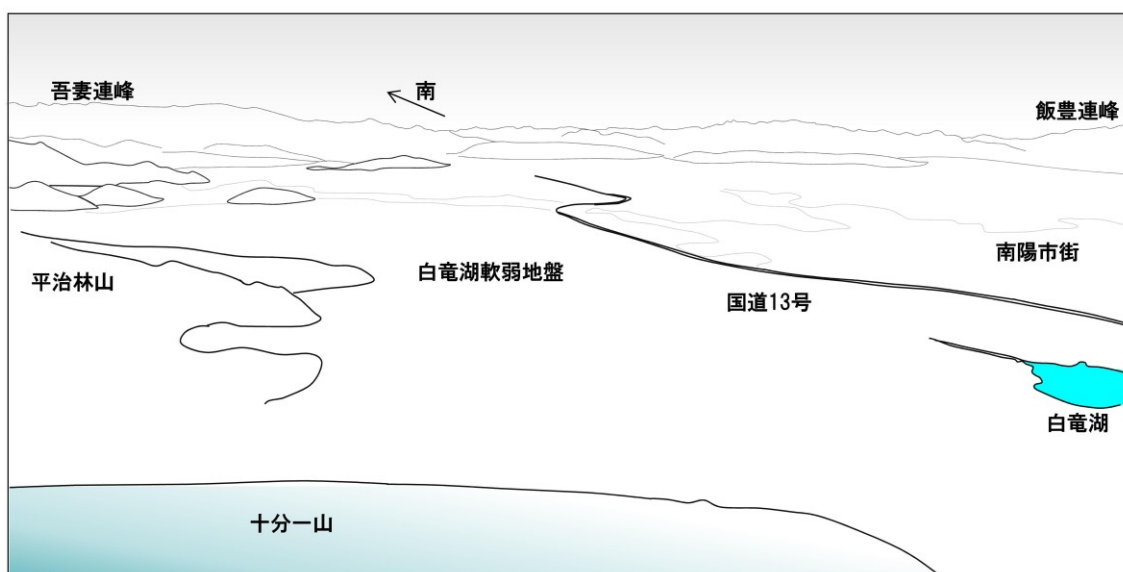


図 2-4 白竜湖軟弱地盤の周辺状況の写真の説明図

## 2-2 成り立ち

鮮新世（400 万年前頃）の山形県では、海退後、奥羽山地の隆起とともに内陸湖が生じたものされている<sup>[2]</sup>（図 2-5）。現在の米沢盆地と長井盆地が図 2-5 の置賜湖に概ね相当しており、白竜湖軟弱地盤は置賜湖の北東端に位置している。

図 2-5 には、現代の高速道路網を重ねてある。東北中央自動車道は福島県相馬市を起点として西進した後、山形県米沢市で北に進路を変えて山形県内を北上する。置賜湖や新庄湖の真上を縦断するように北上していることになる。



図 2-5 約 400 万年前の山形県と現代の高速道路網（文献<sup>[2]</sup>より作成）

東北中央自動車道は、白竜湖軟弱地盤の北端部で丘陵地帯に入るとトンネルが連続する区間になる。1 本目のトンネルの南坑口の山裾がそのまま白竜湖軟弱地盤の基岩に連続している。この基岩は中新世後期の緑色凝灰岩（グリーンタフ<sup>[5]</sup>）で、赤湯層<sup>[6]</sup>と呼ばれている。この層は、グリーンタフ変動<sup>[7],[8]</sup>による隆起、陥没、沈降、海進を経験しているはずである。グリーンタフ変動は、中新世の始め頃（約 2,600 万年前）、東アジア全域で断層帯が生じ、陥没盆地が形成されて海になるとともに、断層帯から溶岩や凝灰岩が噴出して陥没地帯内に厚く堆積したとされる地殻変動である<sup>[1]</sup>。赤湯層は 1,800 万年～1,000 前にこのように堆積したと考えられている。

白竜湖付近の陥没は深度約 1,000m、直径約 10km の規模で火山活動より前であったと想定されている<sup>[9]</sup>。図 2-6 は、白竜湖軟弱地盤周辺の地図に等重力線を重ねた重力分布図である。点線で示した等重力傾斜変換線に囲まれた内側は外側より重力の値が小さい。このよ

## 第2章 白竜湖軟弱地盤の成り立ちと歴史

うな重力異常が起きていることから、この地域が大規模に沈降していたことが伺える。その後、グリーンタフの分布する地域は一転して隆起し始める。鮮新世にさらに活発に隆起して陸化が進み、山形県内でも図 2-5 のような内陸湖が生じたと考えられている。その後白竜湖付近が湖盆として取り残され、軟弱地盤が形成されたと考えられてきた。

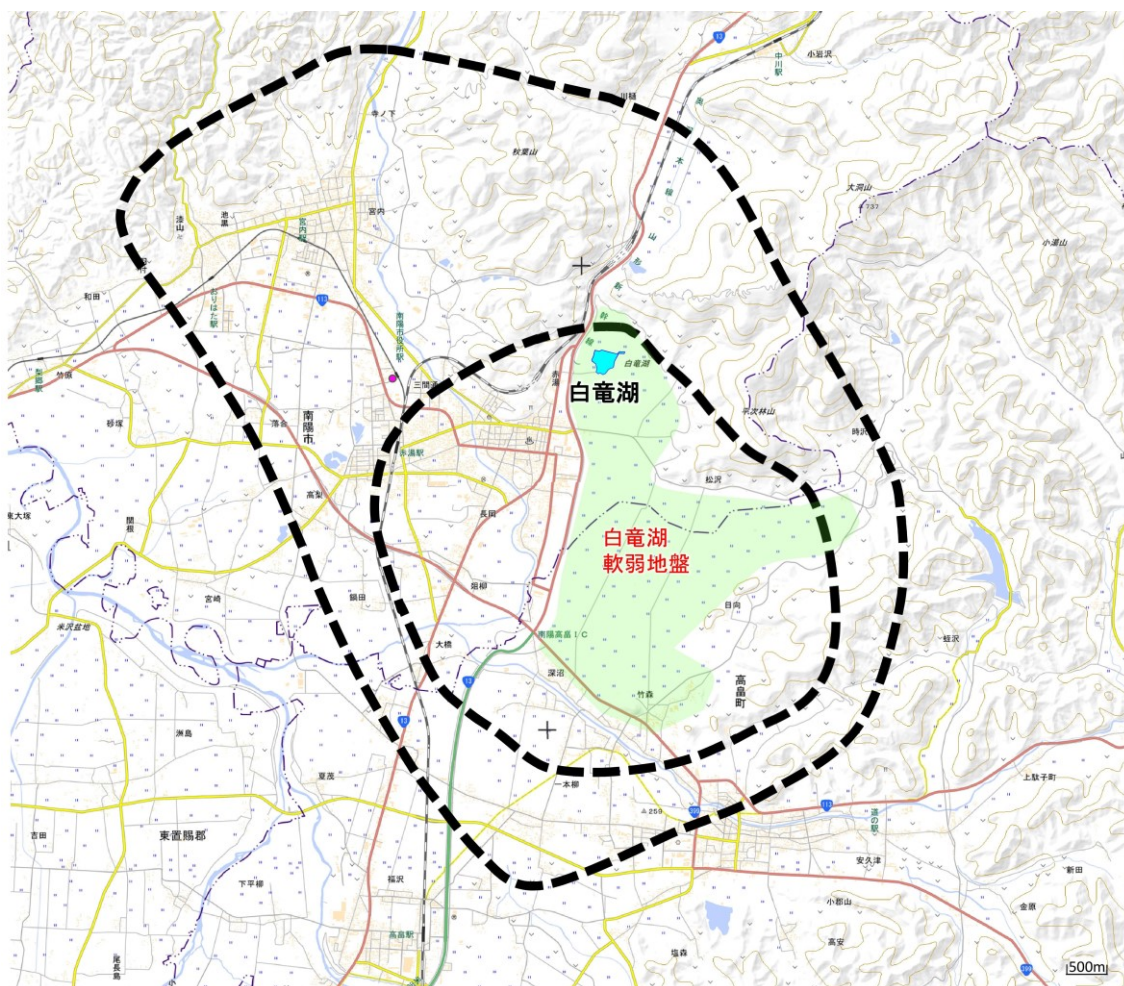


図 2-6 白竜湖軟弱地盤周辺の等重力傾斜変換線（国土地理院標準地図および文献<sup>[10]</sup>より作成）

図 2-7 は、白竜湖軟弱地盤の想定地質断面図で、高速道路建設に伴い実施したボーリング調査の結果を整理して作成したものである。測点の起点は南陽高島 IC で、右端が白竜湖軟弱地盤の工事範囲内における北端である。凝灰岩（グリーンタフ）は北端部約 600m の範囲で確認しているが、それより南側では 100m 以上の深度になる。

このグリーンタフの上位には、砂質土、粘性土、有機質土が互層を成して厚く堆積している。この地盤は、湖盆に静かに土粒子が堆積して一様な粘性土を形成したわけではない。過去の調査でも地表部の泥炭層の下に腐食土層が 4～5 層存在することが指摘されている<sup>[1]</sup>。白竜湖付近では、図 2-2 に示した吉野川と屋代川がもたらした堆積と、植物性の堆積が繰

り返されたものとする。穏やかな湖面があった時期に粘性土が堆積し、やがて植物が繁茂してくる。河川が氾濫すると砂質土が堆積し、植物は減って有機質土になる。また河川が氾濫し、砂質土が堆積、水が引くまでの間に粘性土が堆積する。このような状況が繰り返された。ボーリングによる土質調査は、一部で深度 100m 付近まで実施しているが、有機質土層は調査範囲の最深部においても確認されている。深度 100m の土層は今から約 20 万年前に堆積したものであると考える。つまり、粘性土と砂質土、有機質土が環境に応じて堆積を繰り返す状況が、少なくとも今から 20 万年の間は続いていることになる。なお、白竜湖軟弱地盤の堆積速度については、第 3 章で述べる。

図 2-3 の写真の水田の範囲がかつては湿原であったと想像してみる。白竜湖の周辺では、蛇行河川や自然堤防、後背湿地、小規模な三日月湖などの状況が時とともに繰り返されて、現在では極めて厚い軟弱地盤を形成している。

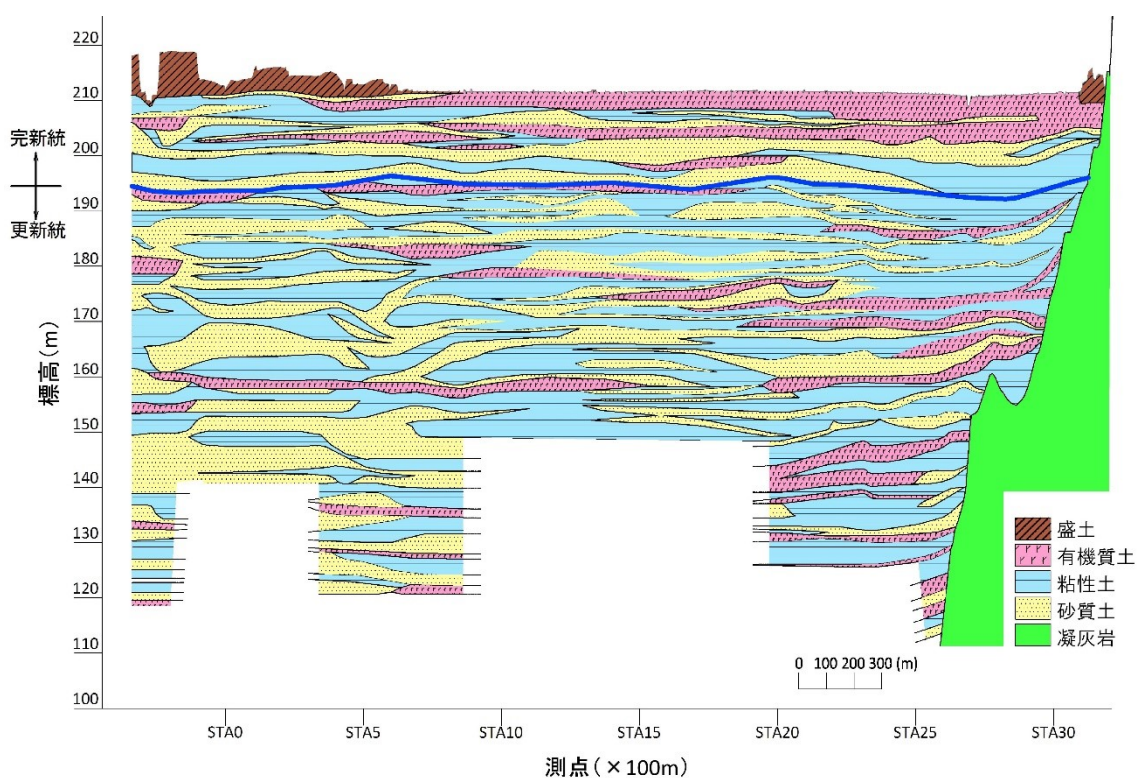


図 2-7 白竜湖軟弱地盤の想定地質断面図 (簡略図)

## 第2章 白竜湖軟弱地盤の成り立ちと歴史

### 2-3 歴史

#### 2-3-1 押出遺跡

前述したとおり、白竜湖周辺が湿原の状態になったのは、20 万年以上前であったと考える。そして、第四紀更新世には数度の氷河期と人類の誕生があった。白竜湖軟弱地盤の周辺には、当時の湿原を取り囲むように多数の遺跡が存在し、その数は60箇所以上に上る（図2-8<sup>[10]</sup>）。なかでも、日向洞窟や一の沢洞窟などを訪れると、今から1万年以上前の縄文時代草創期に人が住み着いたと考えられていることが案内板で説明されている（図2-9、図2-10）。この時期は、更新世と完新世の境界とされる時期（西暦2000年から11,700年前）<sup>[11],[12],[13]</sup>と概ね一致する。



図 2-8 白竜湖軟弱地盤周辺の縄文遺跡群（国土地理院標準地図および文献<sup>[10]</sup>より作成）





図 2-9 縄文遺跡（日向洞窟）

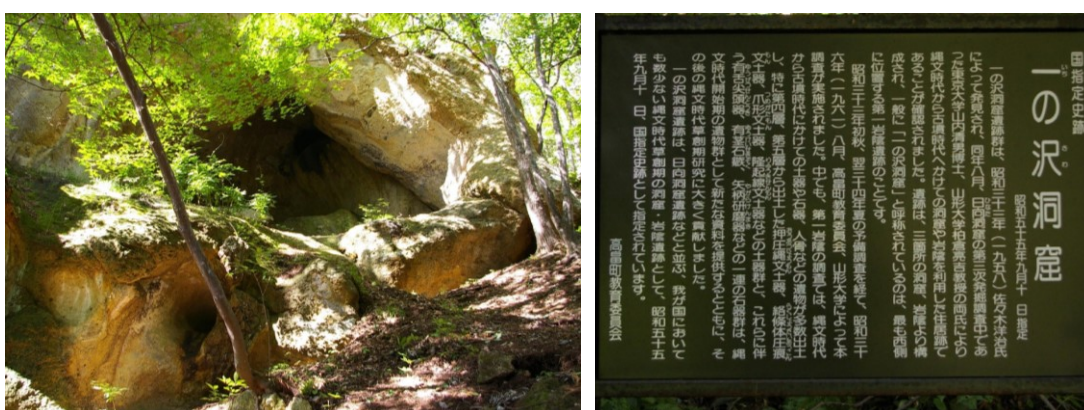


図 2-10 縄文遺跡（一の沢洞窟）

さらに、図 2-8 には、白竜湖軟弱地盤の直近にある<sup>オランダシ</sup>押出遺跡<sup>[4]</sup>の位置を強調して示してある。押出遺跡は、1971年5月に発見された。付近の横堀排水路（沼尻堀排水路）の浚渫土から土器や石器を掘り起こして遊んでいる子供が見かけられたのが発端とされる。その後、国道13号の建設の際に本格的な発掘調査<sup>[4]</sup>が1985年～1987年に3回に分けて実施されている。大規模な集落跡が発掘され、クッキー状の炭化物や多くの土器、石器が出土している。また、沼尻堀排水路の拡幅に伴う追加調査<sup>[5]</sup>も2011年、2012年に実施されている。2012年に撮影した押出遺跡付近の状況を図 2-11に示す。写真の撮影方向は北北西で、正面に写っている山並みの小ピークが図 2-3の撮影地点の十分一山である。写真は水路の拡幅工事の途中段階を撮影したもので、水路の片側が矢板で閉め切られて発掘調査の開始を待っている状況である。



図 2-1 1 押出遺跡の状況 (2012. 4. 30)

押出遺跡は、白竜湖軟弱地盤の南西端に位置している。集落としての当時の立地状況は、自然堤防と後背湿地の境界付近であったと推定されている<sup>[6]</sup>。遺跡の出土地点の地表面の標高は、211.14mで米沢盆地では最も低い地点であったと記録されている<sup>[10]</sup>。遺跡はさらに深度2m付近から出土する。図 2-1 2は、高速道路建設事業に伴い、押出遺跡付近を試掘調査した時の状況である。多数の土器片と石器が出土した。なお、試掘調査は2m以上の深さの直掘りとなるが、掘削面は平然と自立状態を保っている。



図 2-1 2 試掘調査で出土した遺物と掘削面の状況

試掘調査は、白竜湖軟弱地盤の工事範囲全体にわたり実施したが、遺物が出土したのは押出遺跡直近の1箇所のみであった。白竜湖周辺の湿原の中に人が住んでいた状況は考えにくい。遺跡群は、水鳥などの狩りに出かけるために湿原の周りに居住地を構えたものと考えられているが、この説を裏付ける結果となっている。

押出遺跡で出土する特徴的な遺物として、先に述べたクッキー状の炭化物（縄文クッキー）と彩漆土器が挙げられる。両者はともに国の重要文化財に指定されている。特に彩漆土器は表面を漆で彩った土器で、出土した直後は朱色であったが、空気に触れて変色したとされる。白竜湖軟弱地盤の地下水位はほぼ地表面付近にある。後に述べるとおり、白竜湖軟弱地盤の高有機質土には、繊維状の植物片が高い割合で腐植せずに残存しているが、遺物の保存状態の良さからも地下水位の大幅な変動がなかったものと推測する。

なお、押出遺跡が出土する深度2mの土層は、第3章に述べる堆積速度によれば、今から約4,000年前に地表面だったことになる。押出遺跡は約5,500年前の遺跡とされており、やや相違がある。一方で、図2-12の試掘調査では、深度2.5m付近から出土しているものとみなすことができる。この場合約5,000年前の地層となり、調和的である。現在の地表面は耕土が入れられて農地として利用されているため、土層の深度と堆積年代の関係に誤差を生じているものと考えられる。

### 2-3-2 水田としての利用の始まりから現代まで

図2-8に示した遺跡群のうち、東側の洞窟群からは弥生時代の遺物が出土している<sup>[17]</sup>。また、文献[1]では、南陽市島貫から石包丁が出土したことに触れている。石包丁は弥生時代の石器で、稲の穂などを摘み取る際に使用した道具とされる<sup>[18]</sup>。南陽市島貫は、白竜湖から西に約3kmの距離にあり、両者のちょうど中間点付近に現在の吉野川が流れている。吉野川の周辺では、既に弥生時代に稲作が行われていたことを物語っている。

白竜湖周辺の開拓の記録は、江戸時代初期から残っている。また、昭和30年代の農作業を記録した写真が多数残されている。当時は谷地舟と呼ばれる特殊な舟で農作業に赴き、田植えは腰まで浸かって行っていたようである。開墾の方法は、地表面付近に堆積している高有機質土（泥炭）を谷地鎌と呼ばれる鎌で20cm弱の厚さでブロック状に切り取り、裏返して積み重ねて畔にし、切り取った部分を客土で埋めるといったものであった<sup>[1]</sup>。葦の群生地は「ヨシ谷地」と呼ばれ、平らで開墾に適しており、田の作柄も良かったとされるが、ミズゴケやツルコケモモの群生地は「コケ谷地」、「針金谷地」などと呼ばれて開墾しにくい土地で、地面が所々盛り上がっていたとされる。これらは典型的な高位泥炭地<sup>[19]・[20]・[21]</sup>であったと考える。大変興味深いのが、当時の分布状況等を見つけることはできなかった。水田も「堅田」「ひどろ（泥田）」「中段」「谷地田」と主に4段階に田の深さが違っていて、大谷地（白竜湖軟弱地盤）の中心部に向かって深くなったとされる。さらに深い泥田は「どんぶけ谷地」と呼ばれた<sup>[1]</sup>。当時の地表面付近の泥炭の状況は、場所によって異なっていたものと考えられる。



図 2-1 3 地表付近の高有機質土（泥炭）の状況

1958年から用排水路の本格的な整備が始まり、1972年に完成している。また、1953年から区画整理事業が始まり、1973年に完了している。地元の農家から、「この区画整理のときに水田が改良されて『盤』が入れられた。今の耕土はその『盤』の上に乗っている。『盤』を踏み抜くと底なしだぞ。」と脅された。図 2-1 3は、埋蔵文化財の試掘調査時の写真である。地表面に30cm程度の厚さの耕土があり、その下に5cm程度の灰色掛かった粘土質の層がある。この層が地元の農家が言う「盤」である。「盤」の下層には、厚い泥炭層がある。この区画整理事業により機械による耕作が可能となったとされる。泥炭層は、植物の遺骸が腐植しきらずに繊維状に絡み合っている。「乾燥させれば燃料になる」と言われるほどで、確かに乾燥させると馬糞のようになる。2m以上垂直に掘り下げても、泥炭層の掘削面はその形状を保っている。図 2-1 3の右上の写真には、のり面成型用のバケットで薄く剥ぎ取られた泥炭がロール状に折り重なって写っているが、繊維が絡み合って水平方向に高い靱性を持っていることが伺える。

一方で、繊維が断ち切られるような大きな荷重が掛かった場合には、非常に弱い地盤となる。図 2-1 4は、不用意に現場に乗り入れて耕土とその下の「盤」を踏み抜いて身動きが取れなくなった建設機械の状況である。地元の農家が言うとおりであった。また、地元の建設業者からは、「存置してあった重機が沈んでなくなったことがある」という話を聞く。第4章で述べる試験盛土の構築には工事用道路の整備がまず必要であるが、建設機械を現場に到達させようとするだけで大きな問題に直面することになる。



図 2-14 耕土を踏み抜いた建設機械

#### 2-4 本章のまとめ

本章では、白竜湖軟弱地盤の成り立ちから現代に至るまでの時の流れを簡単に整理して示した。以下に、本章の内容を改めて概括する。

- (1) 白竜湖軟弱地盤の基岩は緑色凝灰岩で、グリーンタフ変動により過去に大規模な沈降を経験したとされている。基岩は、調査対象範囲の最北部約 0.6 km の範囲で確認できる。この範囲より、南側では 100m 以上の深度となり、工学的な支持層としての利用価値が低下するため確認できていない。軟弱層は、その基岩上に極めて厚く堆積している。
- (2) 今から約 400 万年前には、海退と奥羽山脈の隆起により、白竜湖のある米沢盆地は内陸湖（置賜湖）となったと考えられている。東北中央自動車道は、置賜湖や新庄湖などの古代湖の跡を通過して山形県内を北上する。白竜湖付近は、置賜湖の湖盆が取り残されて軟弱地盤化したと考えられてきた。しかし、白竜湖軟弱地盤の土層構成を見ると、粘性土と砂質土の互層に有機質土が挟み込み、複雑な様相を呈している。蛇行河川や自然堤防、後背湿地、小規模な三日月湖などの状況が、今から 20 万年ほど前から繰り返されてきたものとする。
- (3) 最上部には、高有機質土が数 m の厚さの層を成している。腐食しきらずに残った植物の遺骸が繊維状に残っている。現在は、白竜湖軟弱地盤のほぼ全域が水田として利用されているが、農作業が機械化されたのは 1953 年からの区画整理と 1958 年からの水路整備等の時に同時に行われた地盤改良以降で、それまでは腰まで浸かった状態で田植えが行われていた。この建設機械を不用意に侵入させて改良盤と耕土を踏み抜くと、図 2-14 のような状態になる。

## 第2章 白竜湖軟弱地盤の成り立ちと歴史

### 《参考文献》

- [1] 白竜湖研究会, "白竜湖 大谷地 (置賜盆地) の自然と文化," pp. 1-48, 1976.
- [2] 山形応用地質研究会, "山形県地学のガイド 山形県の地質とそのおいたち," pp. 5-6, 2010.
- [3] 平野覚三, 近野和則, 高坂敏明, 太田秀樹, "東北地方の内陸盆地に分布する軟弱地盤への道路計画," *地盤工学会誌*, vol. 58, no. 7, pp. 14-17, 2010.
- [4] "山形県赤湯温泉の湧出機構と注水効果の機構," *北海道大学地球物理学研究報告*, pp. 169-210, 1964.
- [5] 秦正雄, 井尻正二, "日本列島," pp. 109-117, 1976.
- [6] 皆川信弥, "米沢盆地周辺における層位学的ならびに古生物学的研究(その3)-北緯(吉野地域)における層序および対比-," *地質学雑誌*, vol. 66, no. 777, pp. 393-404, 1960.
- [7] 吉谷昭彦, 山内靖喜, "グリーンタフ堆積盆地の発生期の構造運動," *地質学雑誌*, vol. 87, no. 11, pp. 703-710, 11 1981.
- [8] 藤田至則, "グリーンタフ変動におけるマグマ成隆起・陥没-火山活動-沈降・回診の系統性," *構造地質研究会誌*, no. 27, pp. 101-107, 1982.
- [9] 田宮良一, "山形および米沢盆地における後期中新世噴火活動～とくに陥没をともなう噴火活動について～," *地質学論集*, no. 9, pp. 123-135, 1973.
- [10] 山形県立うきたむ風土記の丘考古資料館, "押出遺跡," pp. 2-24, 2 10 2007.
- [11] 遠藤邦彦, 奥村晃史, "第四期の新たな定義 その経緯と意義についての解説," *第四期研究*, vol. 49, no. 2, pp. 69-77, 2010.
- [12] 奥村晃史, "第四期の位置と新定義 その経緯と意義," *地盤工学会誌*, vol. 58, no. 2, pp. 46-49, 2010.
- [13] M. Walker, S. Johnsen, O. S. Rasmussen, T. Popp, J.-P. Steffensen, P. Gibbard, W. Hoek, J. Lowe, J. Andrews, S. Bjorck, C. L. Cwynar, K. Hughen, P. Kershaw, B. Kromer, T. Litt, J. D. Lowe, T. Nakagawa, R. Newnham and J. Schwander, "Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records, *Journal of Quaternary Science*," 2009, vol. 24, 3-17.
- [14] 山形県教育委員会, "押出遺跡発掘調査報告書," vol. 150, no. 押出遺跡発掘調査報告書 (本文編), 1990.
- [15] 公益財団法人 山形県埋蔵文化財センター, "押出遺跡 第4・5次発掘調査報告書," *山形県埋蔵文化財センター調査報告書*, vol. 212, 2014.

- [16] 阿子島功, "押出遺跡の立地環境—その成立と廃絶にかかわる地形変化—," *山形県埋蔵文化財調査報告書*, vol. 150, no. 押出遺跡発掘調査報告書 (図版・表・分析編) , pp. 95-104, 1990.
- [17] 横山昭男, 菅田慶信, 伊藤清郎, 渡辺信, "山形県の歴史," pp. 11-33, 1998.
- [18] 山形県立博物館, "特別展 大地に刻まれた山形の歴史 展示図録," p. 50, 1988.
- [19] 能登繁幸, "泥炭地盤工学," 1991.
- [20] 小暮敬二, "高有機質土の地盤工学," 1995.
- [21] 地盤工学会泥炭のお話し編集委員会, "泥炭のお話し," *ジオテクノート*, vol. 14, 2004.
- [22] 山形応用地質研究会, "山形県地学のガイド 山形県の地質とのおいたち," pp. 218-219, 2010.