

6 2. 杞憂と言えるか南水北調の危懼^{きてつ} (その2)

(4) 南水北調の危懼

この国家的プロジェクトに対しては、計画の当初から問題視する意見が百出した。たとえば、“汚染された水を態々北に送る必要があるのか”、“大量の送水によって生態系が破壊される可能性がある”、“住血吸虫症等の北上が懸念される”、その他、土壌のアルカリ化、水生生物の減少及び絶滅、河川水資源の不均衡、高い負担金と利用料、などへの指摘は、現在でもネット上を賑わし、また公表された研究者の批判論文も多い。しかし筆者が奇異に感じているのは、これらの中に地質事象や水文事象などに関するものが殆ど見当たらないことである。そこでここでは、筆者の知り得た情報と現地視察に基づいて、南水北調と地盤・水環境との関係について考えてみることにした。

a) 土地地質

南水北調の路線には、地盤の変形や変位に関わる素因としての黄土類土、膨張土が分布するほか、地表の陥没に繋がる構造的な断裂破壊区、また鍾乳洞の発達や石炭採掘などの鉱山開発による洞孔などの地下空間^{脚注1)}が存在するところがある。

i. 黄土類土

黄土類土には湿陷性のものがあり、文字通り含水によって収縮する場合がある。そのような地層の給源地は山西省の黄土高原東部にあり、(Q₃黄土^{脚注2)}) 自重性湿陷黄土、非自重性湿陷黄土に分けられる。なお“湿陷”現象には、自重応力、またはこれに上載荷重が加わった状態で、浸水によって土粒子構造が破壊し、または変形するものがある。中国では特殊土として扱われているこのような地盤は中国東北地方、西北地方、華中、華東地方にみられる。なお古期の黄土は湿陷性を示さない。

このような湿陷性を示す特殊土が分布する地区での工事に際して、何らかの原因で水路に亀裂が生じた場合、また破壊するかした場合、そこからの漏水によって地盤が変形する可能性は充分あり得る。写真 23 はかつて筆者がカリフォルニア導水路の建設に際して行われた実験サイトを見学した折、撮影した水路の変形、破壊の状況で、以前にも紹介した hidroコンパクションの例であるが、今回の黄土類土地帯の視察でもこのような現象につながる現場をみて、その可能性が強く懸念された(写真 24)。



写真 24 南水北調導水路壁面にみる亀裂
(石家荘の北方、滹沱河付近、矢印の亀裂に注目)



写真 23 特殊土地帯の導水路の変形
[導水路の亀裂からの漏水によって生じた沈下と破壊、1976年筆者撮影]

脚注 1: 中国では“采空区”と称している。当国では近年これに起因した陥没事故が多発しており、社会問題にもなっている。

脚注 2: 晩期更新世に堆積した黄土を指す。

ii. 膨張土

ここで言う膨張土とは、イライトやモンモリロナイトといった膨潤性の粘土鉱物を多く含む地層で、含水によって膨張^{脚注1)}、乾燥すると収縮して硬くなり、かつその鉱物組成や粒子構造に支配された亀裂の発達で特徴付けられる地層を指している。この地層はおもに新第三系から第四系の湖成堆積層（写真 25）や氷成堆積層から成り、一部に残積土或いは短距離輸送になる河床堆積起源の泥灰質層を含む。このような地層は中国各地に分布するが、南水北調の路線においても湖北、河南、河北の各省すべてにおいてその発達をみる（図 10, 11）。その総延長は 340 km に達し、全路線の 1/4 を占める。中でも南陽盆地^{脚注2)} におけるものが顕著で、ここでは盆地の 65% が膨張土で占められている（図 12）。

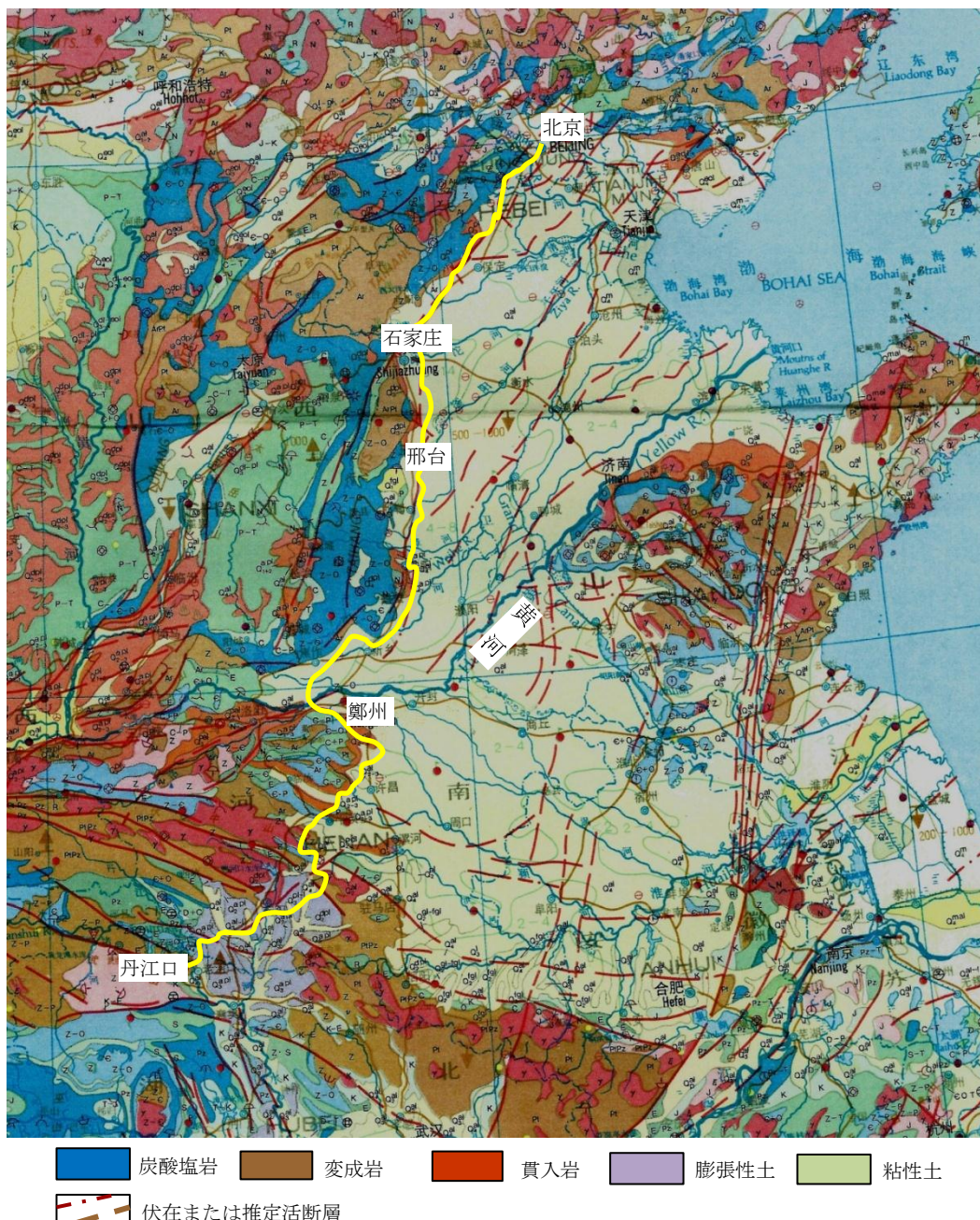


図 10 河北平原及びその周辺の土质地質図

(出典：中国地質科学院水文地質工程地質研究所(1990)：中国工程地質図)

脚注 1：自由膨張率は 60～80%を示す。

脚注 2：南陽盆地は北部、東部、西部を山に囲まれ、南部は広大な盆地となっている。その中心の南陽市は河南省最大の都市である。なおこの盆地は中国有数の油田地帯でもある。

膨張土の存在はここにあるような長大な水利施設のみならず、道路や鉄道建設に際しても大きな障害となり、その対策は計画の成否を左右するといってもよい。南水北調について具体的に言えば、南陽盆地西縁、河南省中部の沙河—汝河段、同北部の安陽—焦作段、河北省南部の邯鄲、邢台の各地にその分布を見る。

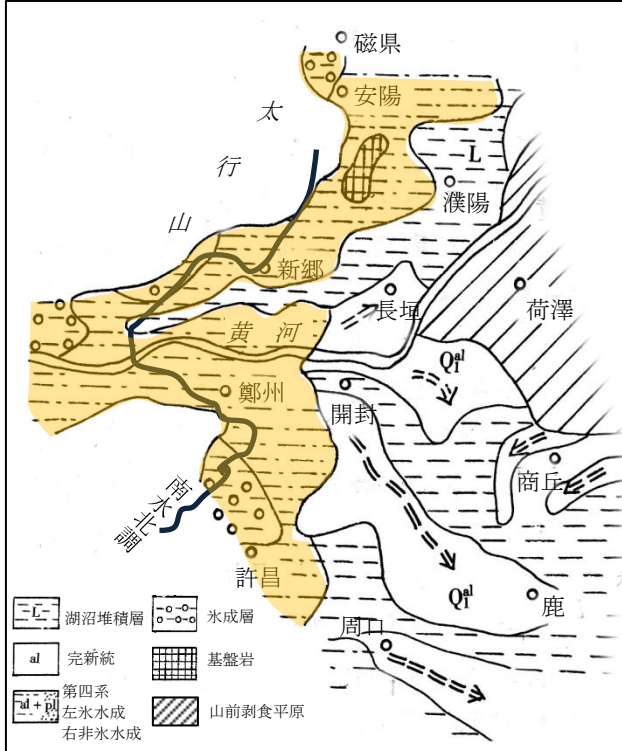


図11 黄河下流第四紀前期更新世岩相古地理図
(着色部は水成堆積層、矢印は古河道)

出典：馬 国彦他(1997)：黄河下游河道工程地質及淤積物物源分析，黄河水利出版社



写真 25 湖成堆積層
(河北省邢台達活泉近傍の工事現場)

なお前号で述べた丹江口に近い南陽盆地西縁の陶岔渠道工における大規模な崩落は、1970年初期の同地での渠道工事でも発生した前歴があり、このとき13か所で大崩落が発生した。当時その対応のために工期の大幅な遅れを来し、また膨張土対策に高額な経費を要したことが記録されている^{脚注1)}。今回の崩落事故もその轍を踏んでしまったわけである。

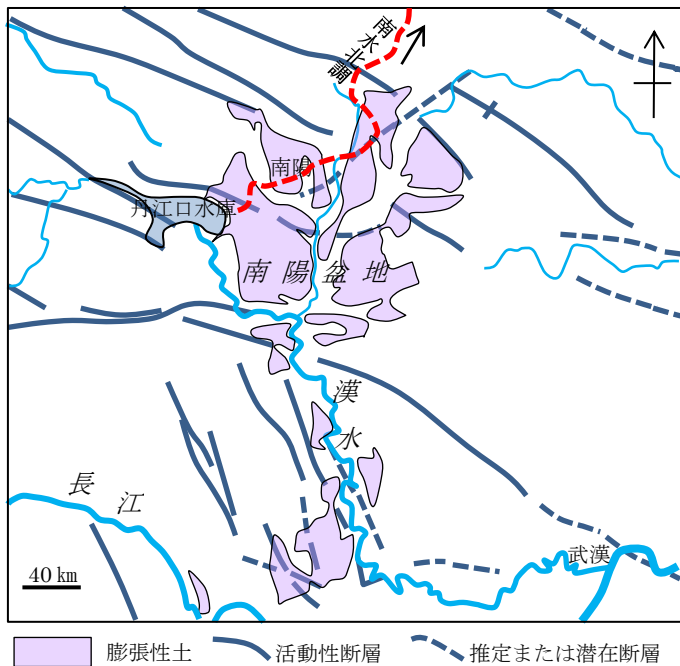


図12 南陽盆地の膨張土 (出典：図10に同じ)

iii. 陥没^{脚注2)}

陥没には自然的なものと人為的なものがある。前者には断裂運動に伴うものや溶蝕によるものがあり、後者には石炭などの地下資源の採掘によってできた地下空洞^{脚注3)}に起因するものがある。

河北地方の多くの活動性深部断裂構造は中新世から継続しているもので、北北東～北東の走向を有し、垂直方向の変位が大きく、規模も大きい。

南水北調は太行山地と河北平原の境界部を流ることが多く、そこは上記の断裂帯にほぼ重なる(図13)。

陥没はとりわけ河北省南部の邢台地域に集中する傾向があり、ここ

脚注1：黄 志全他(2005)：南陽膨張土抗剪強度的現場剪切試験研究、水文地質工程地質、2005年5期

脚注2：地下水利用に起因する地盤沈下は別に述べる。

脚注3：中国では采空区と称する。

では図 14 にみるような大小規模の断裂と石灰岩の溶解による空洞（岩溶）の発達をみる。南水北調がこのような地域に建設されていることは水路の安全性の上から極めて重大なことと言える。なお図 13 にある●印は天然鉱泉水の位置であるが、それらはこのような地下構造を反映している可能性が大きい。このことに関しては後に再び触れる。

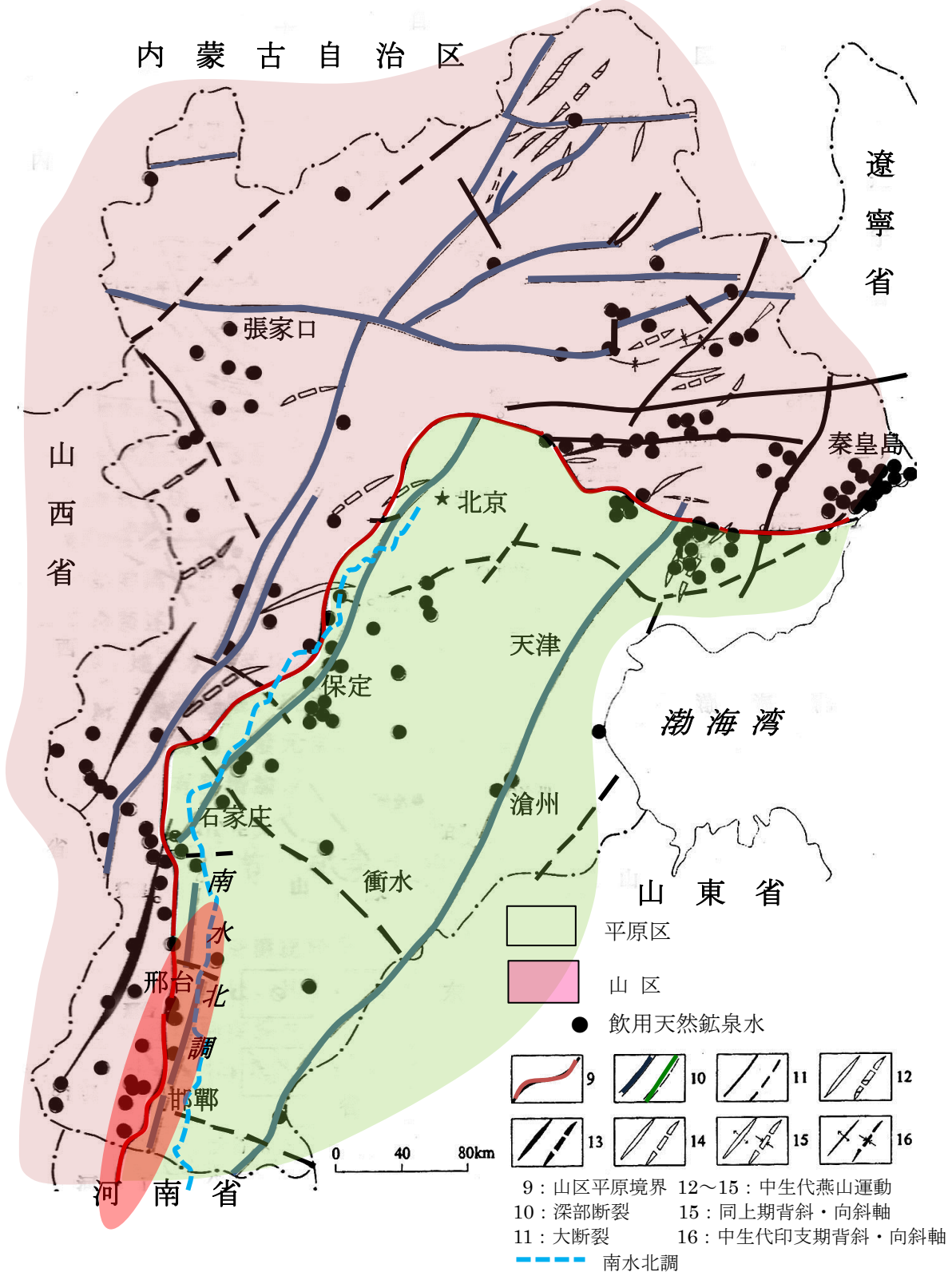
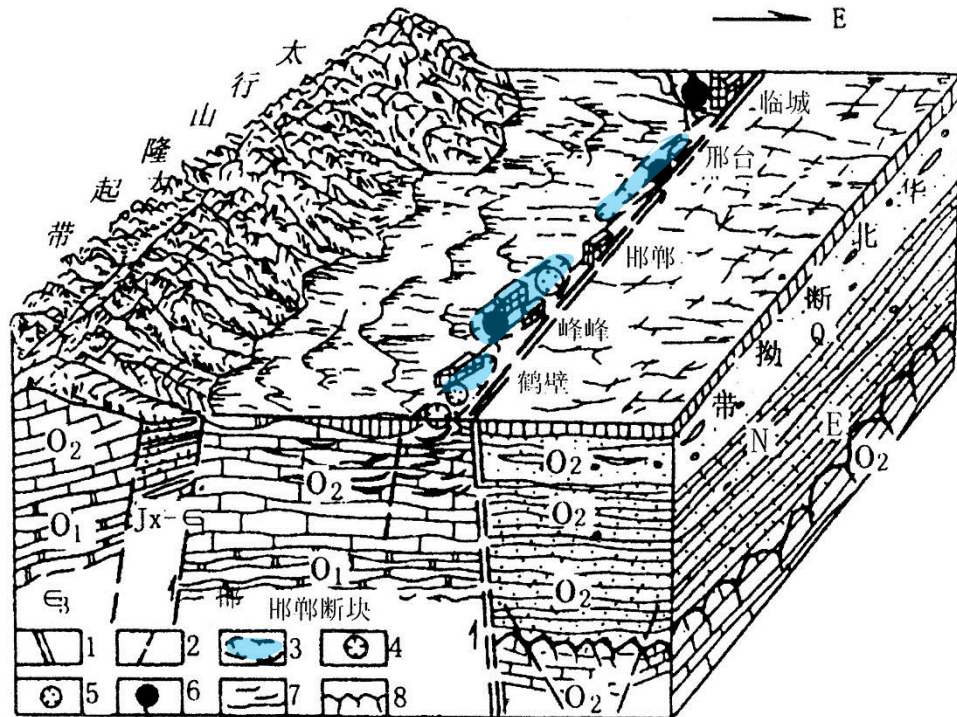


図 13 河北地方とその周辺の深部断裂及び天然鉱泉水の分布
 (出典：図 9 に同じ、●は図 14 の範囲)



1 : 深部大型断裂 2 : 浅部小型断裂 3 : 岩溶強発達帯 4 . 溶洞 5 . 陥落柱
 6 : 岩溶大泉 7 : 垂直岩溶分布帯 8 . 岩溶古潜山 (用語は原著に準じた)
 Q₁ : 下部更新統 Q₂ : 中部更新統 Q₃ : 上部更新統

図 14 太行山東麓の河北省鶴壁—邯鄲—邢台地域における断塊構造と岩溶発達関係の立体模式図 (出典 : 図 9 に同じ)

さて、中国語の采空区とは鉱山開発などによって出現した地下空間をいう。南水北調に関係するこのような地下空間の多くは石炭採掘によるもので、河南省の禹州、焦作、河北省の邢台、涿（ライ）水などに多数存在していて、水路地盤の長期的変形、場合によっては陥没をもたらす可能性もある。図 15 はその様子を模式的に示したものである。

ここで蠕動（ぜんどう）変形とは恰も腸の運動のように波状的に地盤変形が広がってゆく状態を指し、塌陷（とうかん）とは文字通り陥没を指している。ただし地表の変形は当初は比較的ゆっくりと進行することが多く、年間数 10 cm 程度である。また

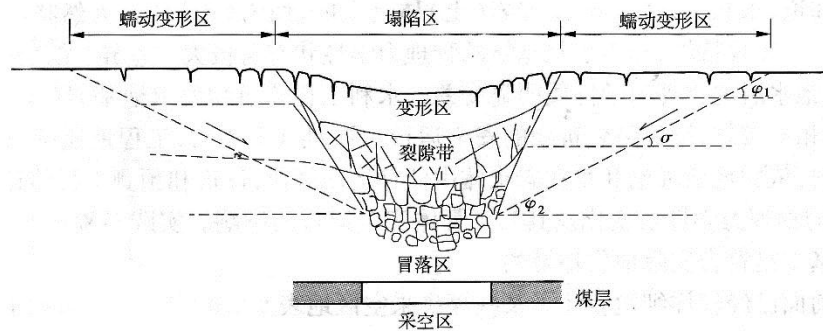


図 15 鉱床等の地下開発による地盤の変形・変位を示す模式図

〔出典：楊 計申他(2009)：南水北調中線工程特殊性岩土地質環境与環境地質概論、黄河水利出版社〕

沈下面積は数km²と比較的広く、沈下量は 5m 以上に達するが沈下速度は次第に減少する。陥没については地下水とも関係するので、その項で再びとりあげる。

b) 地震

図 16 は河北省と周辺地域の震央の分布図である。図で河北平原を中心とした地震帯は中国東部主要地震区のひとつとされる華北地震区に含まれ、華北平原亜区と呼ばれる。この地震帯は「邢台－河間地震帯」、「許昌－淮南地震帯」、「菅口－郟城地震帯」を包括する。ここで注目されるのは「邢台－河間地震帯」の存在で、その位置はおおよそ図の塗色部当たり、水路はこれを横切るかたちになる点である。

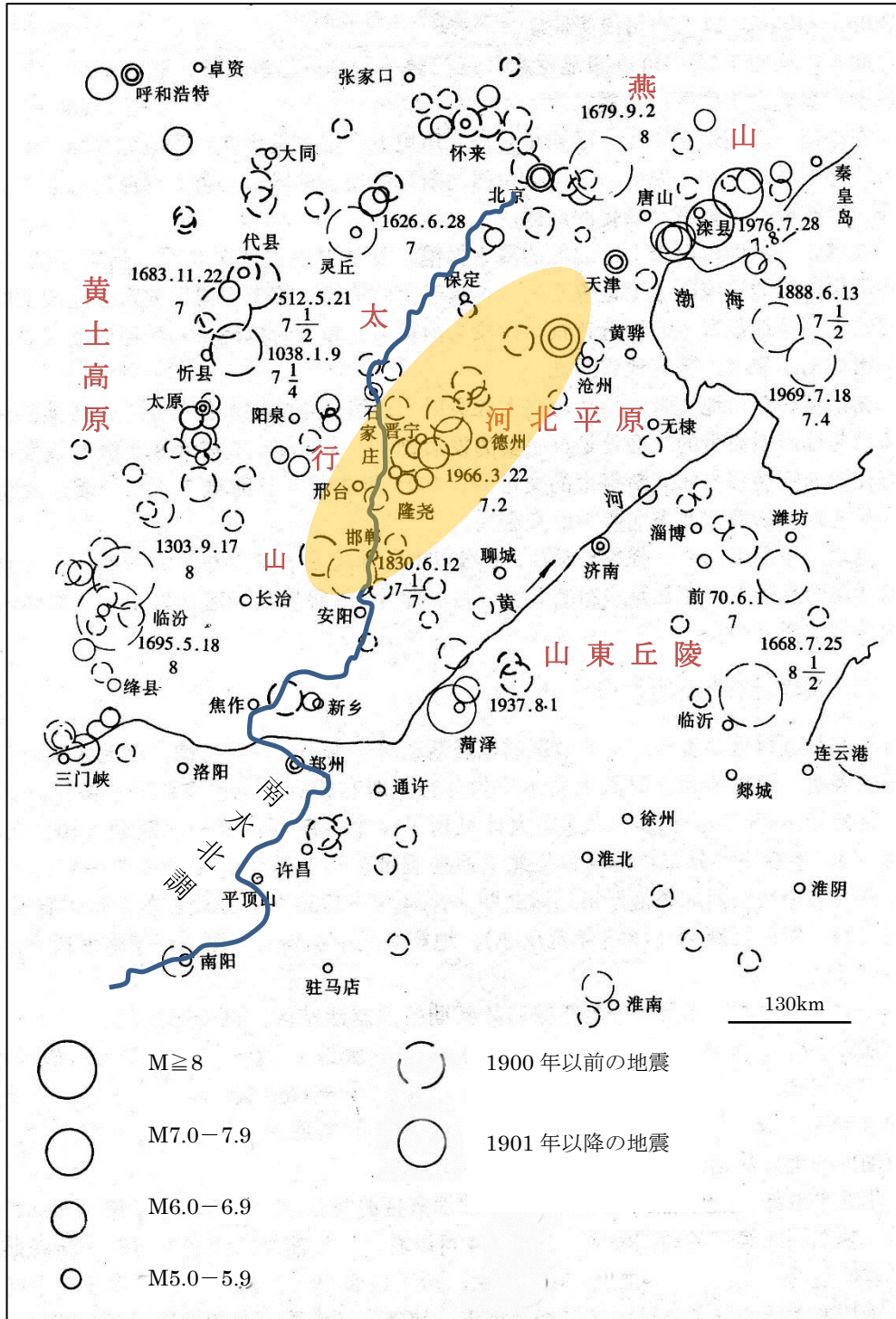


図 16 華北地震区強震震央分布図

(出典：馬 国彦他(1997)：黄河下游河道工程地質及淤積物物源分析，黄河水利出版社)

この地域で発生した大地震の例として、「邢台地震」をあげることが出来る。これは1966年3月8日5時29分14秒と、同月22日16時19分46秒の2回、立て続けに発生したもので、前者はM=6.8、震源地は河北省邢台専区隆堯県で、南水北調から東へ23kmのところである。この地震の被害地域は300km²に達し、家屋の殆どは倒壊した。また各所に地裂を生じた。後者はM=7.2、河北省邢台専区宁晋県を震源とし、水路から東へ38km離れた地点である。この地震による被害地域は137km²で、このとき各所に地裂を生じ、噴水や噴砂がこれに伴った。噴砂孔は直径1~2m、噴砂の厚さは最大1.3mに及んだ。さらに堤防の移動も見られ、中にはそれが1m以上に及んだところもある。両地震における死亡者は、8,064人、負傷者は38,000人を数えた。またその経済的損失は10億元に達した。

以上の他、1830年6月12日に発生した河北省南部の磁県を震源地とする地震はM=7.5で、南水北調はこの震源地から西へ4kmという近さである。この時やはり各所に地裂を生じ、黒色の水が噴出したほか、付近を流れる河川は涸渇して河床が見えたと記録されている。

南水北調の耐震性は如何か、また地震発生時にどのような対応が用意されているのかといった点については、筆者は把握していないが、若し水路が地震で破壊された場合の被害は上述の比ではないであろうと筆者は懸念する。

c) 地下水

図13にある天然鉱泉水の分布を再度見ていただきたい。太行山の東麓には各所に鉱泉水の湧出をみる^{脚注}。その多くは写真26のように自噴し、中にはその高さが5m以上に及ぶものも存在する。

このような地下水の湧出機構は図17のように説明されている。すなわちこのモデル地域となっている河北省南部の邢台市背後の太行山地には広く炭酸塩岩が分布し、そこに賦存する裂隙水は高いポテンシャルを有して平野部に流入し、この地域の特徴ともいえる無数の湧水群を総称した名勝“百泉”を支えている。邢台市が別に“泉城”と呼ばれる所以である。



写真26 自噴する鉱泉水
(邢台市朱庄水庫近傍の河床)

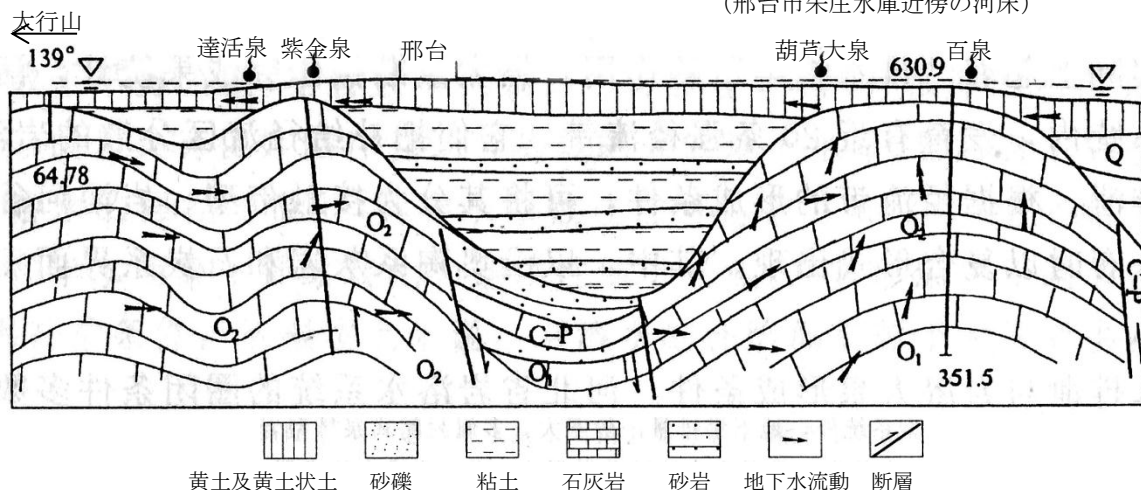


図17 邢台泉群の湧水機構概念図
(出典：図9に同じ)

脚注：太行山地の山中や山麓部には各所に鉱泉水を利用した療養施設が存在する。

ところで、“支えている”という表現は、今日では“支えていた”と変えた方が良いかも知れない。邢台市の他の側面は従来からの石炭産業に加えて鉄鋼、セメント、ガラス、化学製品を産する工業都市という点にあり^{脚注)}、地下水は鉱山排水の対象として、また工業用水として、ともに大量に汲み出されていて、地下水環境は大きく変わっているからである。

写真 27 は同市の代表的な湧水公園であるが、現在は深層地下水の揚水によって維持されている。また写真 28, 29 は、これも有名な湧水公園であったが、現在は年間を通して殆ど干からびた状態にある。写真 30、31 は名勝というには程遠い今日の百泉の姿である。なおこの地形の成因は石灰岩空洞の陥没（シンクホール）によるものと考えられ、地形的にはプラヤと言って良い。



写真 27 達活泉公園

(現在は地下水位が低下し深井戸の補給を得ている)



写真 28 狗頭泉公園



写真 29 同左、涸渴した池水



写真 30 (名勝だった?) 百泉



写真 31 同左

以前このシリーズでプラヤと地下水の関係について論じたことがあるが、この地方にみるプラヤの存在も地下水が大きく関係している。すなわちカルスト地形の一つとして数万年あるいはそれ以上をかけて形成されたものである。しかし石炭の採掘という人為営力による地形変化（陥没現象）はこの比ではない。邢台市は河北省有数の炭鉱地帯と

脚注：この地方の環境汚染、或いは環境破壊は近年とみに深刻化を増しているが、中でも石炭産業にかかわるものが多い。

しても知られているが、写真 32, 33, 34 にみるようにその多くは小規模なもので、保安状態は良いとは言えず、人身にまで及ぶ坑内事故が多発している。



写真 32 邢台县会寧鎮地方の炭田
(すぐ傍を南水北調が流れている)

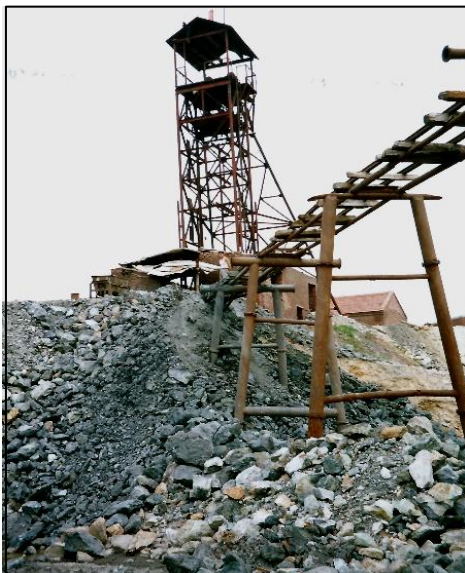


写真 33 石炭採掘



写真 34 排水された坑内水のプール

← 目につく倒れそうな檣と
農地の中に造られた粗末な沈砂池 ↑

さて石炭掘削には時として地下水の噴出が伴うことが多い。これはしばしば大きな事故につながることもあり、中国では“突水”と称して恐れられている。このような現象は掘削に伴って不透水層や断層粘土などによって隔離されていた被圧層、いわゆるコンパートメントが開放された場合や、坑道保安のために残しておいた残柱の破壊によって、坑道が押しつぶされたような場合に地下水圧が急増して発生する。特に太行山東麓地帯



写真 35 炭層のボーリングコア
(裂罅が発達し、多量の地下水が存在する)

の炭鉱は異常に断裂構造が発達していることから大規模な突水が発生しやすいという宿命を負っている。その様子はこの地区から採取されたボーリングコアの破碎状態から推し計ることができる(写真 35)。

ところで図 18 は中国の「地下水誘発危害図」から切り出した河北省の地下水障害の状況を示したもので、赤色横線地区は地下水利用による水位低下の激しい地域(地盤沈下激甚地域)、青色縦線地区は突水頻発地域(陥没事故多発地域)

を示している。

図にあるように、南水北調の路線が邢台、安陽、鹤壁、焦作、許昌などの突水多発地区の近くにあることは非常に気になるところである。

さて以下はネット情報を引用したものである。

【2005年11月7日中国通信=東京】「石家荘7日発新華社電によると、河北省邢台県会寧鎮尚汪荘康立の石炭鉱山で、6日午後7時40分、崩落事故が起き、7日までに48人が救出されたが、そのうちの27人が死亡した。21人が病院で治療を受けており、現在も20人が坑内に閉じ込められている。」

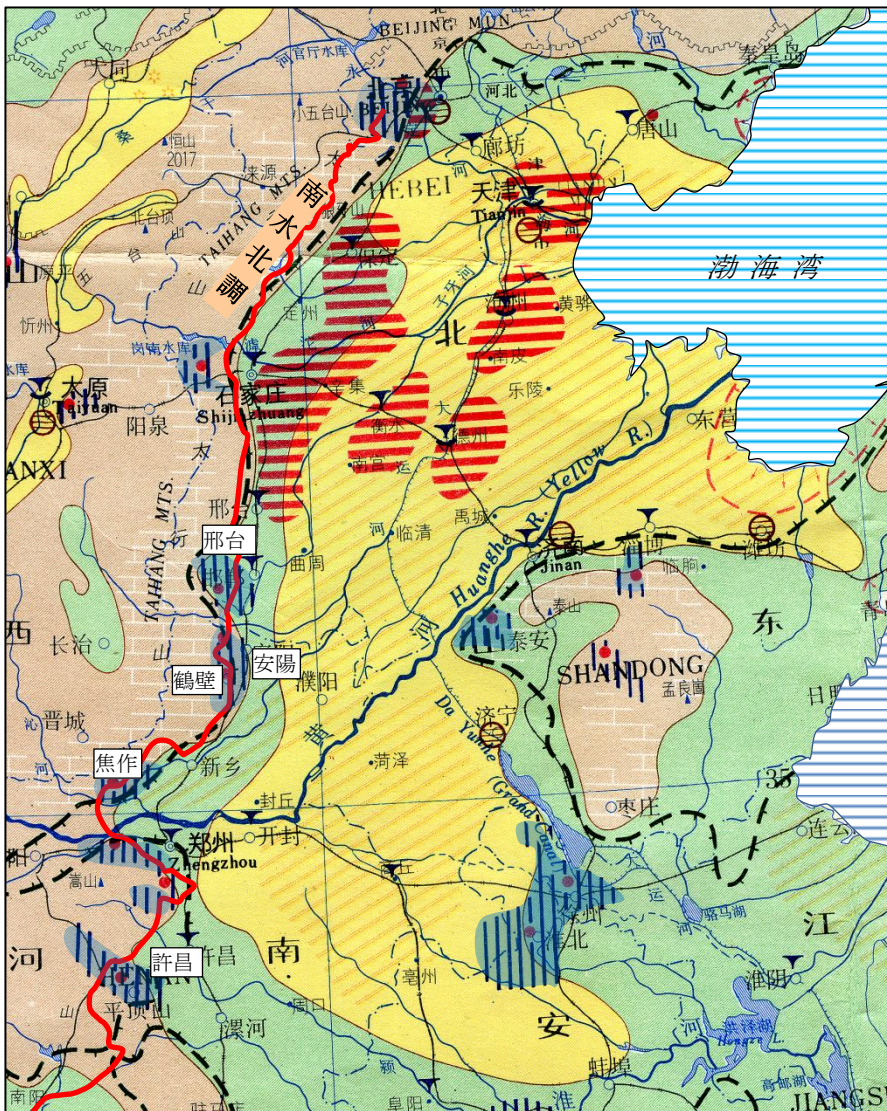


図 18 河北地方の地下水障害多発地区

(青色縦線：突水現象頻発地区、赤色横線：地下水位低下現象激甚地区)

(出典：中国地質科学院水文地質工地質研究所編(1992)中国地下水誘発危害図)

この事故の発生時の様子が写真 32 に残されている。ここは南水北調から 1 k m 前後という近さである。

この地域からやや離れるが、同様の事故の記録が路線沿いでは焦作地区、峰峰地区の炭鉱などに残されている。それによると 1960 年代から 1980 年代の 20 年間のうちに突水量は 4 倍に増加したとある。またこの地区から離れるが山東省の淄博炭鉱では 1931 年の鉱山開発以来 1987 年までの間に 164 回の突水が発生したとある。その要因として岩溶の発達状態と地下水賦存量の大きさを挙げている^{脚注 1)}。

さて南水北調は汚染の拡散を増長させるのではないかと、この懸念も挙げられているが、他方南水北調の利用によって地下水位が回復し、北京、天津、保定などの地盤沈下の終息につながるというプラス評価もある^{脚注 2)}。確かに上記地域の地下水位の低下状態には図 19 にみるように、かつての我が国の状況を凌ぐものがあり、南水北調に期待するところが大きいことはよく理解できる。



写真 32 邢台县会寧鎮尚汪莊康立石炭
鉱山の崩落事故
(約 1m 幅の地割れが随所にみられる)

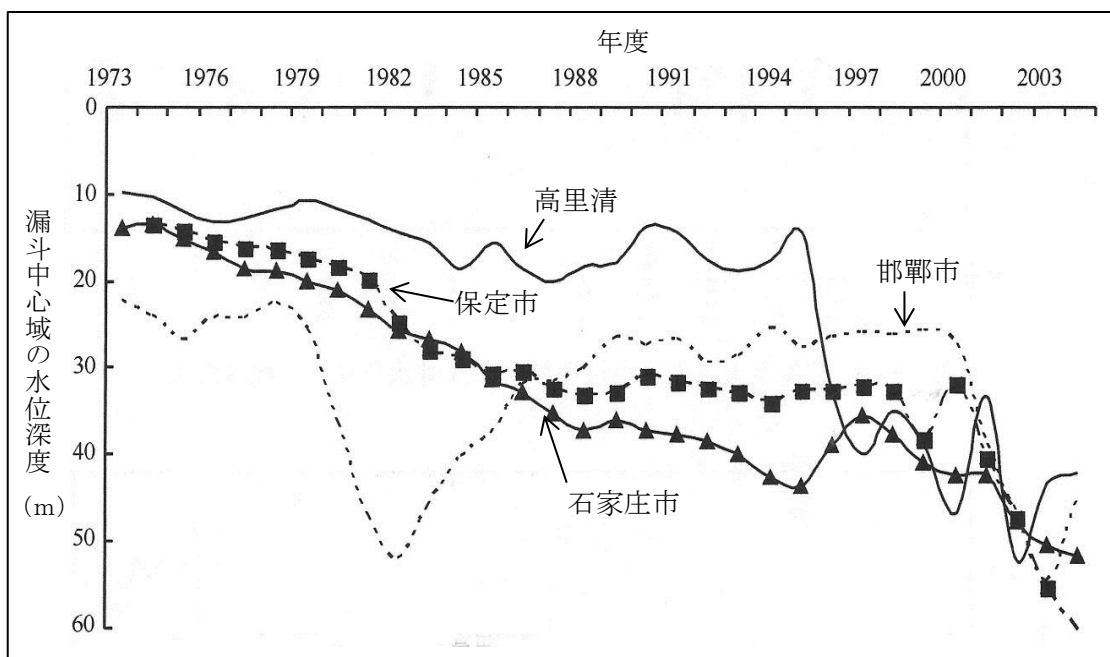


図 19 浅層地下水漏斗水位変化

(出典：中国地質調査局(2009)：河北平原地下水可持続利用調査評価)

しかし急激な地下水位の「低下→上昇」の過程は、昭和 40 年代の我が国東京湾岸地域の地盤沈下激甚期にその原因となる地下水の揚水規制が行われた後、地下水位の急激な回復上昇によって、東京駅や上野駅の地下路床が上昇した例に重なり、これと同じ現象が南水北調沿線で行われる可能性があることは否定できない。

脚注 1：中国地質科学院水文地质研究所編(1992) 中国地下水誘発危害図説明書による。

脚注 2：中国地質調査局(2009)：河北平原地下水可持続利用調査評価