

中国における大地震前の地下水異常

馮学才（中国国家地震局蘭州地震研究所）

高橋 博（国立防災科学技術センター 元所員）訳・岸本文男（鉱床部）監訳
Hiroshi TAKAHASHI Fumio KISHIMOTO

訳者から一言

この一文は雑誌《地震地質》の第4巻第2期（1982）に掲載された14p.の論文の完訳である。原題は“我国大地震前地下水異常特徴及其物理機制”で高橋博がこの論文の重要性に気づいて翻訳した上訳者の「注」を記述し岸本文男が原著に照しながらその訳文を監訳して完成させたものである。

そもそもこの完訳は《地質調査所月報》に掲載される予定で1982年9月24日に呈出済みであったがその直後に「地質調査所月報編集委員会」の翻訳単論文の同月報掲載とりやめの勧告にもとづいた本所部長会議の決定がでてすでに編集が終りあるいは印刷にとりかかっていた翻訳単論文以外の既呈出分はすべて自発的にとりさげざるをえなくなった。岸本文男の他の翻訳単論文3編とともにこの翻訳単論文が陽の目をみないことになるのはまことに残念で別途発表の手段を探していたところ幸いにも某部長の示唆があり本誌に掲載の運びとなった次第である。

なお岸本文男は残る3編のうち2編は廃棄し1編は所内の翻訳希望者本人に献上した。

はじめに

この十余年来中国で発生した破壊的地震の震前にはすべて大量の地下水の異常現象がみられいく人かの

地震研究者はそれぞれの角度からその研究と総括をおし進め〔1—3〕同時にまた成功裡に数次の破壊的地震を予報しそれによって国際的に地震学者たちの注目を浴びた。

現在のところ中国の地震前の地下水異常現象に対する研究と総括は多くの箇々の地震例に局限されその共通した特性と規則性についての研究はそれほど多くない。この報告は中国の大地震前の浅層地下水の異常現象にもとづいてその共通する特性と地震三要素との関係を研究しあわせて地震前につくりだされる地下水異常現象の物理的メカニズムと物理的過程について検討したものである。

I. 大地震前の地下水異常現象の広域分布特性

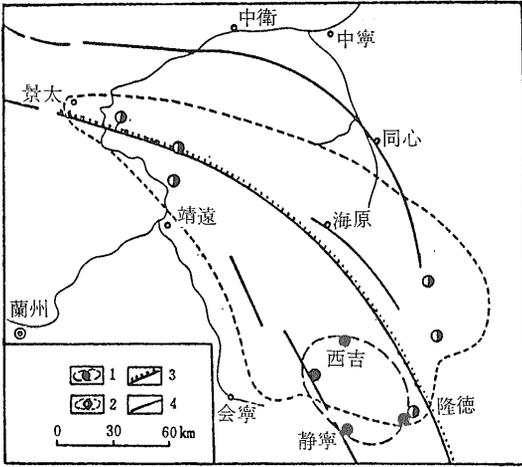
研究の結果は地震前の地下水異常の分布範囲の大小と地震規模との間に関係があることを証明している。地震規模の大小は震源体積すなわち震源体とその周囲の岩石が受けた応力の様式とその烈しさの程度によって決まり地下水の分布範囲と分布形態に影響を受ける。中国における大地震前の地下水異常の広域分布には以下のような特徴がある。

1. 異常面積と地震規模との関係

中国の大地震前の地下水異常分布面積と震源体積およ

第1表 中国におけるいくつかの大地震発生前の地下水異常出現面積

地震発生日	震央の位置		マグニチュード	異常出現面積 (km ²)	異常出現範囲	
					延長 (km)	幅 (km)
1920. 12. 16	寧夏回族自治区	海原	8.5	30,000	250	120
1976. 7. 28	河北省	唐山	7.8	20,000	200	120
1975. 2. 4	遼寧省	海城	7.3	25,000	300	80
1966. 3. 22	河北省	邢台	7.2	50,000	300	220
1966. 3. 8	河北省	邢台	6.8	30,000	230	190
1976. 4. 6	内蒙古自治区	和林格爾	6.3	20,000	160	120
1979. 7. 9	江蘇省	溧陽	6.0	2,500	65	45
1974. 4. 22	江蘇省	溧陽	5.5	1,500	48	28
1970. 12. 4	寧夏回族自治区	西吉	5.4	2,000	60	40
1966. 5. 16	河北省	邢台	5.0	1,500	46	33

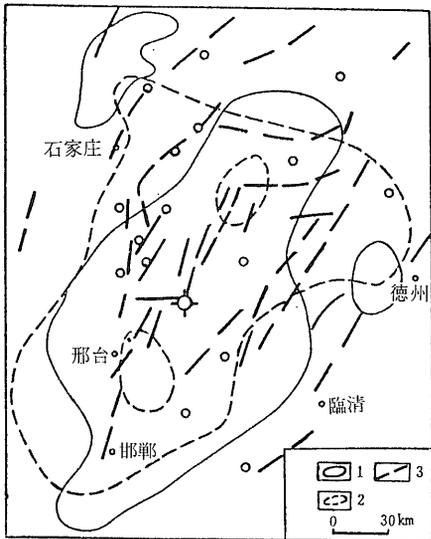


第1図 海原地震・西吉地震の地震発生前における地下水異常の分布

- 1—西吉地震での水位上昇異常地点とその分布範囲
- 2—海原地震での水位上昇異常地点とその分布範囲
- 3—地震変形帯 4—断裂帯

び震源応力場の大小との間には 条件付きの密接な関係がある (第1表)。

同一地域で発生した地震では地下水異常分布面積と震度(M)は正比例するが 地域が異なればこの種の関係はなりたたない。これは 地域が異なれば水理地質条件



第2図 邢台地震前の地下水異常分布と地震構造

- 1—M7.2地震発生前の水位上昇圏境界線
- 2—M6.8地震発生前の水位上昇圏境界線
- 3—主要断裂帯

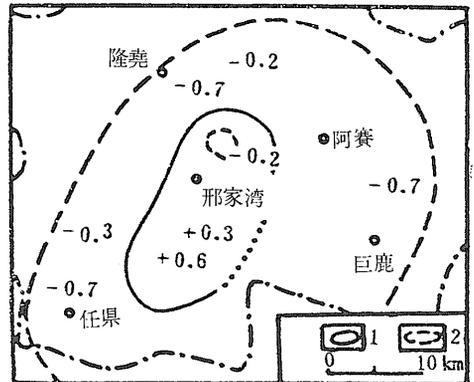
も異なるためである。したがって 当該異常分布面積によって地震の規模を予報する場合には必ずその地域の過去の地震例での異常分布面積と照し合せ あるいは水理地質条件が類似する地域の地震前の地下水異常分布面積を参考にしなくてはならない。そうすれば 地震の規模に対して比較的正確な推定が可能になる。

中国で地震前の地下水異常が出現するのは 多くはⅥ—Ⅶ度等震度線¹⁾の内側であり なかでも震度Ⅶ度域内に地下水異常現象が比較的集中している。したがって地下水異常現象がかなり集中して出現する地域範囲にもとづけば 地震による破壊の範囲が判断でき その範囲内に対しては防震・抗震措置²⁾をとり 防震・抗震範囲の根拠のない拡大や縮小による不必要な経済的損失を招かなくてもすむようになる。

2. 地下水異常現象の楕円状ないし帯状分布 その長軸と地震発生構造帯との一致

中国での大地震前の地下水異常現象の特徴は 烈震区域で水位が上昇し 縁辺区域で水位が下降し 外周区域で沸騰・発泡などを生じることである。異常地点の分布は楕円状または帯状を呈し その長軸と地震発生構造帯及び等震度線の長軸の方向が一致する。

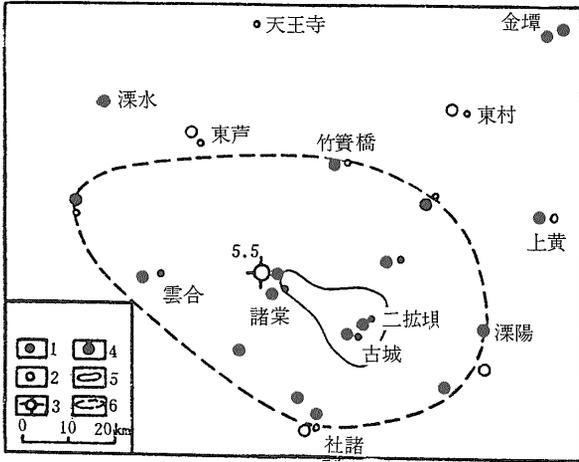
1920年の海原 M8.5地震の前には地下水の水位の上昇異常が北西から南寄り 西華山—哈思山地震発生構造帯付近に分布し その分布形態は烈震区域の形態と一致している (第1図)。この区域内での1970年4月の同心 M4.2地震 同じく12月 M5.4の西吉地震の前にも それぞれ地下水異常現象が生じ いずれも地下水水位の上昇が主で 分布形態は NW—SE 方向の隴西逆転軸構造体系と一致している。



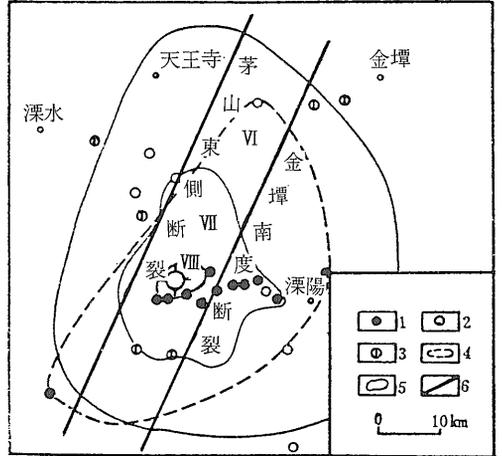
第3図 邢台 M5.3地震
1—水位上昇区 2—水位下降区

訳者注: 1) 中国の震度階区分は改正メルカリ震度階に近く 2で割って1をたすと ほぼ日本気象庁の震度階区分になる。

訳者注: 2) 地震防災対策 すなわち ひ難命令を含む地震応急行政対策のこと 詳しくは 中国の地震防災対策(その2): 地質ニュース No.316 参照



第4図 深陽 M5.5 地震発生前の地下水水位上昇・下降異常分布
 1—水位の上昇地点 2—水位の下降地点 3—震央
 4—井戸水 5—烈震区 6—水位上昇区・下降区の境界線



第5図 1979年7月9日深陽 M6 地震発生前の地下水異常分布
 1—水位上昇地点 2—水位下降地点
 3—井戸水の色変 4—水位上昇区・下降区の境界線
 5—等震線 6—断層

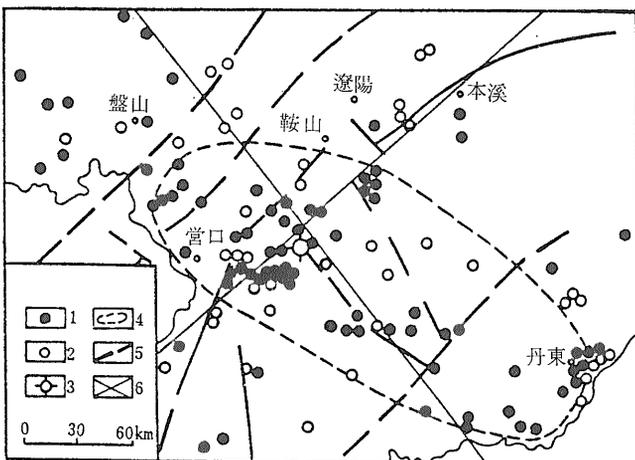
1966年の邢台 M6.8 地震と同じく M7.2 地震 及び 5月6日の M5 余震のそれぞれの前に震央区とその付近の地下水水位が上昇し 外周区域の地下水水位が下降し その分布範囲の形態は楕円形を示し その長軸の方向は当該地域の NNE—SSW 方向の新カタイジア構造体系及び地震発生構造帯である東鹿地溝の方向と一致している (第2図・第3図)。

1974年の深陽 M5.5 地震の前に 震央区域とその付近で地下水水位が上昇し 外周区域では下降し その分布形態は等震度線図の形と一致した(第4図)。さらに1979年にも深陽地区で M6 地震が発生したが その地震の発生前に震央区域とその付近の地下水水位が上昇し 外周区域では下降し その地下水異常分布範囲の長軸方向は

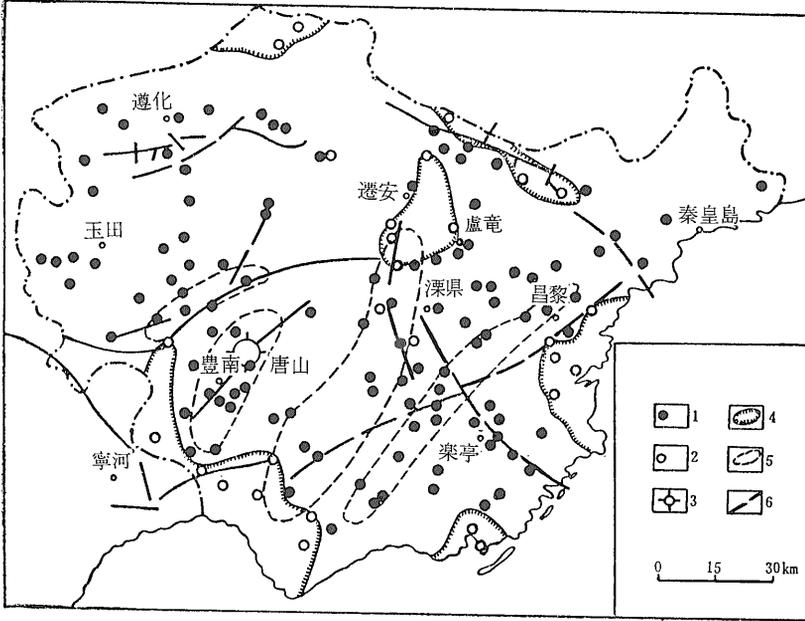
地震発生構造帯である茅山東側断裂帯の軸方向に近いものであった (第5図)。この2回とも 地震の前の地下水異常はその分布範囲の形が楕円形であった。

1975年の海城 M7.3 地震に先だつ地下水異常は 本溪—鞍山—海城—營口を結ぶ NNE—SSW 方向の新カタイジア構造帯付近と 錦州—磐錦—海城—岫岩を結ぶ NW—SE 方向の地震発生構造断裂帯付近に分布し 両異常帯の交会部にこの海城 M7.3 地震の震央があり 震央区域とその付近の地下水水位は主に上昇し 外周区域の当該水位は下降し これまた楕円状の分布を示していた (第6図)。

1976年の唐山地震の前には 震央区域とその付近で地下水水位の上昇が 外周区域でその水位の下降が 北部



第6図 海城地震発生前の地下水水位上昇・下降地点の分布と地質構造
 1—水位上昇地点
 2—水位下降地点
 3—震央
 4—水位上昇区・下降区の境界線
 5—断層
 6—水位上昇・下降象限



第7図

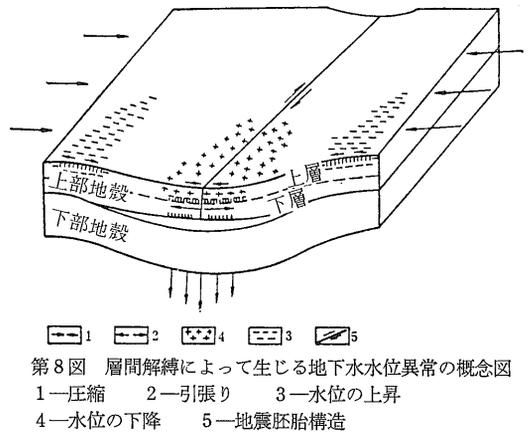
唐山地震発生前の地下水水位上昇・下降地点の分布と地震構造
 1—水位上昇地点 2—水位下降地点 3—震央
 4—水位下降区 5—地震発生16時間前の水位異常区 6—断層

の遵化・承德一帯では全般的に沸上り・発泡現象がみられ これら地下水異常現象の分布範囲は楕円状を呈しその長軸方向はNE—SW方向性の広域構造と一致した。そして 地震発生16時間前の地下水水位上昇区 区域はNNE—SSW方向の狭帯状の形で現われ その方向は地震発生構造帯である寧河—唐山断裂帯の方向と一致した(第7図)。

文献[6]の「層間解縛」論によると 地震の発生に向かって進行する過程のなかでは 下位の地殻部分が垂直方向に沈降して震源底部の軟弱層を解縛³⁾し 明瞭な張応力区域をつくり 地震発生層は自体重量による作用下にあって 下方にある程度撓曲しようとし 震央区域の地面の沈降現象をもたらす。このモデルは2様の結果 すなわち震央沈降区域では上部の地層が圧縮されて地下水水位の上昇をもたらす 外周区域の地層では引張られて地下水水位の下降などの異常を生じることを教えてくれる。そして 震源体周辺の地下水異常が楕円状ないし帯状分布という特徴を備え(第8図) その長軸方向と地震発生構造帯の方向が一致する原因は 震央区域の地面が沈降することによって上部の岩層が圧縮されて地下水水位が上昇し 下部の岩層が引張られて震源体底部に張応力区域をつくり それによって深部地下水の水位が下降することにある。唐山地震の前にこの種の異常現象があった。唐山市の水道局はその震度11の区

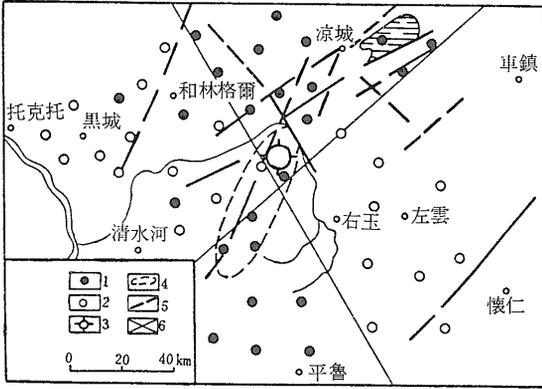
域に13本 震度10の区域に8本の井戸を所有していたが地震の前に第四系中の井戸では水位が上昇し オルドビス系石灰岩中の井戸では水位が逆に下降した。

上述の特徴は 当該区域全域での地下水水位異常の分布範囲が楕円状ないし帯状を呈し かつ当該区域の地質構造方向と一致した場合には必ずこれを強く重視し 強震発生の可能性あることを考慮しなくてはならないことを示している。同時にまた 地下水異常の分布範囲形態は震央と地震発生構造帯を判断する根拠となる。



第8図 層間解縛によって生じる地下水水位異常の概念図
 1—圧縮 2—引張り 3—水位の上昇
 4—水位の下降 5—地震胚胎構造

訳者注: 3) 日本語の適語がない。「解」は「解き放つ ばらばらにする 移送する」「縛」は「しぼる くくる」の意。「軟弱層の変形に直接影響を与え」という意味かもしれない。



第9図 和林格爾 M6.3 地震発生前における地下水水位異常上昇・下降地点の分布

- 1—水位上昇地点 2—水位下降地点
- 3—震央の位置 4—烈震区 5—断層
- 6—水位の上昇・下降区の象限

3. 異常昇降変化の四象限分布

そのほかの中国の2・3の大地震は 地震前の地下水水位の昇降変化が四象限の空間分布特性を備えることを示している。

1976年の内蒙古自治区の和林格爾 M6.3 地震〔7〕では地震前における地下水水位の昇降変化現象の分布がまさに規則的な四象限特性を備えていた(第9図)。その水位の昇降の分界線は一つが N50°E もう一つが N30°W で この分界線は震央区域の2組の主要地質構造方向と一致し しかも両分界線が交叉するところがほかでもなくこの和林格爾 M6.3 地震の震央であった。

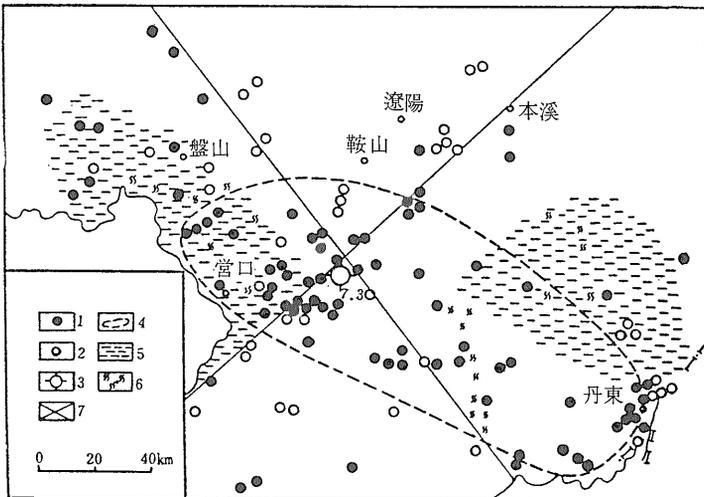
1975年の海城 M7.3 地震では 地震前の地下水異常の

分布が楕円状という特徴を示しただけでなく その昇降区域がまた四象限分布特性をはっきり備えており 両分界線が交叉するところがこれまたこの地震の震央であった。面白いことに水位上昇区は地震の前に土の匂いのするガスや陰気な霧の発生区域〔8〕であり その境界線と水位昇降の四象限が一致する(第10図)。これは 地震前に深層地下水が湧き上って起った現象らしい。

1976年の竜陵地震の前には 地下水水位と水温の昇降現象の分布に四象限特性があり しかも地震発生時および地震発生後の水位・水温の昇降変化と地震前の四象限分布がよく一致した。同じ日に発生した1回の M7.5 地震と1回の M7.6 地震は震央間の距離が短かく 両震源の応力場が互いに重なりあったため いくつかの水位・水温異常点と四象限分布が十分には一致しなかった。しかし面白いことには 両者の震央と震央の中間にこの四象限の軸交叉部があって 両軸線方向がこの地域の2組の主要断裂帯の主方向と一致しているのである(第11図)。

1970年の通海 M7.7 地震の発生前と発生時における地下水水位の昇降変化は四象限分布特性を備え⁴⁾ その分界線は一つが N40°W もう一つが N40°E で(第12図) 両分界線とも震源規制が解かれた結果とほぼ一致し N40°W の分界線と地震発生構造帯の主方向はよく対応している。

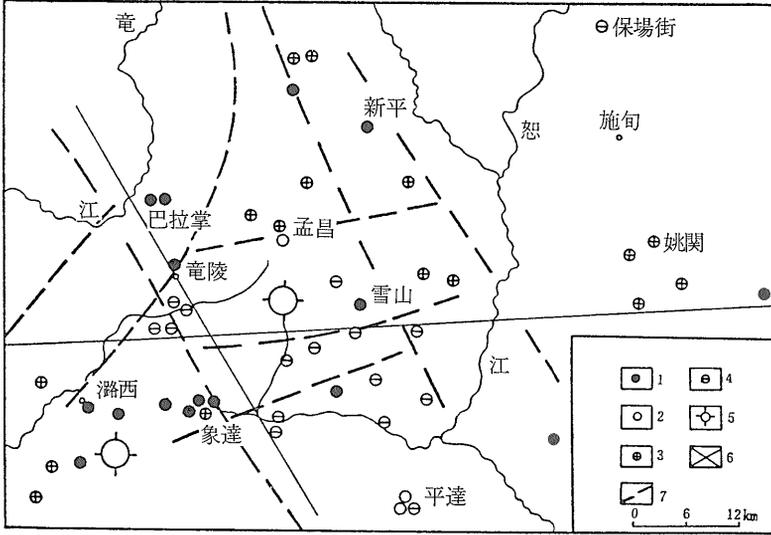
筆者らは 地震前の地下水水位の昇降異常が四象限分布を示す現象を主として先行変位現象がつくりだしたものと考えている〔9〕。地震前に先行変位が生じること



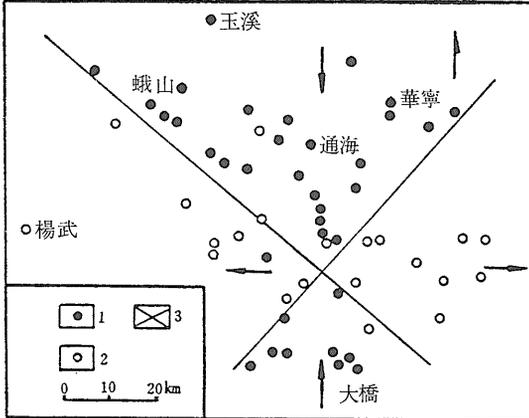
第10図 海城 M7.3 地震発生前の地下水水位の上昇・下降地点および霧・異常地臭の分布

- 1—水位上昇地点
- 2—水位下降地点
- 3—震央
- 4—水位上昇区と下降区の境界線
- 5—霧発生区域
- 6—異常地臭感得区域
- 7—水位上昇・下降象限

訳者注：4) 昆明地震大隊(1973)：用宏視方法对幾個歷史地震震源機制的初步分析：《地震技術資料匯編》 2期



第11図
竜陵地震発生前における地下水位と水温の上昇・下降地点の分布
1—地震発生前の水位・水温上昇地点
2—地震発生前の水位・水温下降地点
3—地震発後の水位・水温上昇地点
4—地震発後の水位・水温下降地点
5—震央
6—水位・水温上昇・下降象限
7—断層



第12図 雲南省通海地震発生前における地下水位上昇・下降地点の分布
1—水位上昇・泉水量増加地点
2—水位下降・泉水量減少地点
3—水位上昇・下降象限

物と硫化水素を多量に含んだ地層に遭遇すれば 地下水水位の上昇区域で地下水に土の匂が加わってくるという異常現象もあらわれることになる。

そのほか 上述の地震例中における地下水水位の昇降区域の四象限分布は同じくP波動の+と-の分布と基本的に一致しているが それは地震前の地下水水位の昇降と震源のメカニズムが内的な関係をもっているためとみることができる。したがって地下水水位と水温の昇降変化も四象限分布特性を示す場合には まさにそれが大地震の前兆であり そのときには必ず大地震の発生にそなえて特別に注意を払い 四象限の軸線とその交叉部に注目すれば 大地震の地震発生構造帯の位置と震央の位置を予知することができる。

によって震源区域に圧縮区と引張り区が形成され 引張り区では地下水水位が下降し 圧縮区では上昇して昇降交互の四象限が形づくられ とくにいくつかの深部断裂に急に圧縮ないし引張りが生じた場合には これらの区域の地下水水位が上昇または下降することになる。地震前の先行変位現象はまた 地殻深部の水を地表に押し出すことも可能である。比較的温度の高い水が深部から地表に出てくると 急激に圧力が下がり 気化現象が生じ得るし それに加えてそのような現象帯は非常に大きな潜熱を有するので 地上に霧を発生させ あるいは低層の気温を上昇させるなどの異常現象を生むことも可能である。もしも深層地下水が硫化水素などの気体を含んでいれば あるいは深層地下水が上昇の途中で有機

以上をまとめていえば 大地震前の地下水のさまざまな異常現象はその原因が主として先行変位と層間解縛という2種の物理的メカニズムにあり したがってそれぞれの地震によって異なる特徴がみられるということになる。同時に各地の水理地質条件が異なるため 上述の2種の物理的メカニズムがもたらす地下水異常の特性は一段と複雑になる。平野部では浅層地下水の分布が水平に近く 層間解縛がつくりだす地下水異常の特性は比較的顕著である。しかし 先行変位がもたらす通路にそって深層地下水が上昇するときには それが浅層地下水と混合してしまう可能性 すなわち深層地下水の特徴が無くなるか弱められる可能性がある。だから 平野地域の邢台地震と深陽地震では 層間解縛型の震央区域で地下水の水位が上昇し 外周区域で下降するという特

第2表 中国のいくつかの大地震発生前における先行変位量と地下水水位異常の幅

地震発生日	震央の位置		マグニチュード	先行変位量 (cm)	地下水水位異常最大幅 (cm)
1920. 12. 16	寧夏回族自治区	海原	8.5	29—74	1.500
1976. 7. 28	河北省	唐山	7.8	13—32	400
1970. 1. 5	雲南省	道海	7.7	11—28	300
1976. 5. 29	雲南省	竜陵	7.6	10—25	300
1975. 2. 4	遼寧省	海城	7.3	7—17	200
1976. 8. 16	四川省	松潘	7.2	6—15	200
1966. 3. 22	河北省	邢台	7.2	6—15	130
1966. 3. 8	河北省	邢台	6.8	4—9.6	100
1976. 4. 6	内蒙古自治区	和林格爾	6.3	2.1—5.3	150
1929. 1. 14	内蒙古自治区	華克齊	6.0	1.5—3.7	300
1979. 7. 9	江蘇省	溧陽	6.0	1.5—3.7	200
1974. 4. 22	江蘇省	溧陽	5.5	0.8—2.0	150
1975. 1. 12	雲南省	楚雄	5.5	0.8—2.0	330
1970. 12. 3	寧夏回族自治区	西吉	5.4	0.7—1.8	70
1966. 5. 6	河北省	邢台	5.0	0.4—1.0	80

徴があったのに対し 高山・丘陵地域の帯水層は水平に分布しないので 層間解縛がつくる地下水異常の特性が不明瞭で 先行変位型の地下水異常の性格の方が鮮明にあらわれ たとえば前述の竜陵地震 通海地震 和林格爾地震などは地震前の地下水水位の昇降変化が明瞭な四象限分布を生じた。平野地域と山岳地域との中間地域で発生した海城地震 唐山地震などは 上記2種の物理的メカニズムによって生じた地下水異常の分布特性をあわせ備えていた。そのため 地震を予知するに当っては必ず別の地域 別の水理地質条件との比較にもとづいて 地下水異常の分布特性を具体的に分析し 震央・震度・地震発生構造帯について正確な判断を期さなくてはならない。

II. 大地震における地下水異常の異常幅の特徴

中国における大地震前の地下水の水位と水温の変動幅は非常に大きく たとえば海原 M8.5地震の前には当該水位が15m上昇し 竜陵 M7.6地震の前には温泉の温度が10°Cも高くなったという例がある。地震前の地下水異常の変動幅には つねに時・空的に一定の法則性があり 地震規模の大小 震央の位置 地震の発生時間 震源の深度と密接な関係がある。

1. 異常幅と地震規模

筆者らの研究によれば 大地震前の地下水水位異常の幅と当該地震に先だつ変位の幅との間には関係があり [9] その先行変位の変位幅と震源断面の最終シフト

幅は正比例する。文献[10]によると 当該断層の最終シフト幅と震度の関係をあらわす経験式は次の通りである。

$$D = 10^{0.52M - 1.25} \dots\dots\dots(1)$$

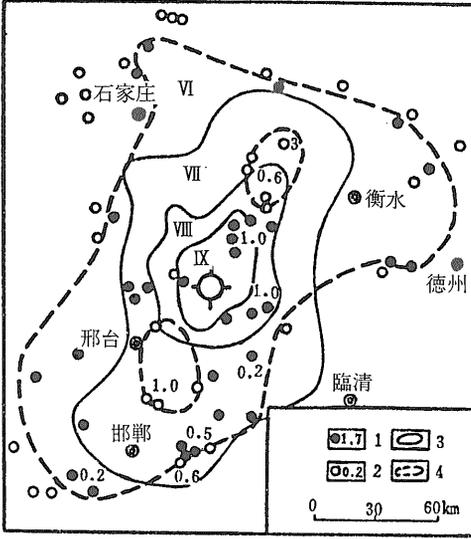
ただし M—震度 D—代表的な生成断層の最終シフト幅 (単位: mm)。

室内での実験研究の結果は 先行変位が断層の最終シフト幅の2—5%であることを明らかにしている。その結果にもとづいて 筆者らは地震前の先行変位の変位幅σと震度Mとの関係式を求め 次のような関係式を得ることができた。

$$\sigma = (0.02 - 0.05) 10^{0.52M - 1.25} \dots\dots\dots(2)$$

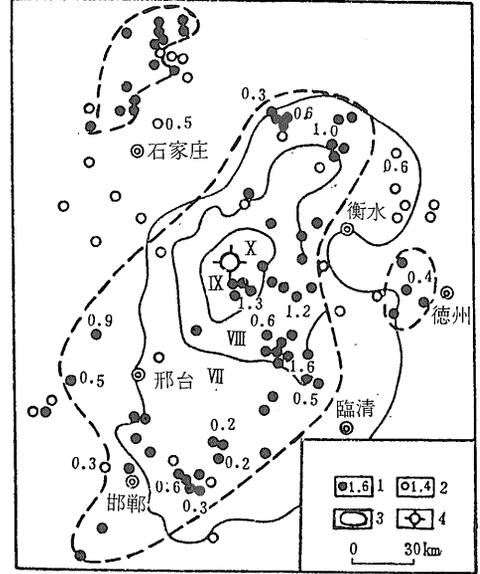
(2)式から さまざまな震度の地震の発生前における先行変位位置を知ることができる。そこで 中国のいくつかの地震前における地下水水位異常の異常幅と先行変位の変位幅を列挙すれば 第2表のようになる。

第2表からは 震度が大きければ大きいほど 地震前の先行変位と地下水水位異常の異常幅が大きいことがわかる。同一地域の場合には地下水水位異常量と震度が正比例関係にあり 地域が異なる場合には両者の関係がかなり複雑である。その複雑さの原因は 地下水水位異常量が地震に先行する変位量と関係するだけでなく 含水層の層厚・岩質・孔隙率・遮蔽条件など諸要素の規制も受けることにある。したがって 今後は水理地質条件がよく似た対象地域で 地下水水位異常量と震度との間の経験部分式を蓄積していけば やがて水位異常量



第13図 邢台 M6.8 地震発生前における地下水水位の上昇・下降地点の分布

- 1—水位上昇地点とその上昇幅(m)
- 2—水位下降地点とその下降幅(m)
- 3—等震線とその強さ
- 4—水位上昇区と下降区の境界線



第14図 邢台 M7.2 地震発生前の地下水水位上昇・下降地点の分布

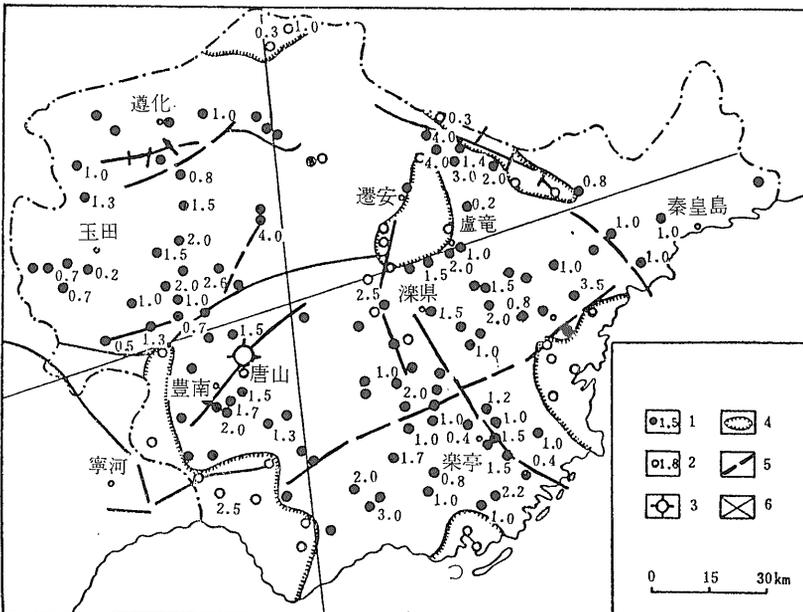
- 1—水位上昇地点と上昇量(m)
- 2—水位下降地点と下降量(m)
- 3—等震線
- 4—震央

を活用した震度予報も可能になってこよう。

2. 地下水水位異常量と震央の位置

震央区域内および烈震区域長軸方向の両端は地震前の地下水水位異常量がもっとも大きく 震央から遠ざかるにしたがって当該異常量が次第に小さくなり 外周地域

の地下水は次第に混濁・沸騰・発泡などの異常現象を生じるようになる。たとえば 邢台 M6.8 地震の前には震央区域内の地下水水位の上昇が1mに達し 烈震区域の長軸の南北両端における異常量はそれぞれ1mと0.6mに分れ 邢台 M7.2 地震の前には震央区域内の地下水水位異常量が1.3mに達し 烈震区域の長軸の南北両端



第15図 唐山地震発生前における地下水水位の上昇・下降地点とその上昇・下降幅の分布

- 1—水位上昇地点と上昇量(m)
- 2—水位下降地点と下降量(m)
- 3—震央
- 4—水位下降区域
- 5—断層
- 6—水位上昇・下降象限

では当該異常量が0.6mと1.0mになり(第13図・第14図)震央区域から離れるにしたがって異常値が小さくなっていった。

唐山 M7.8 地震の前には烈震区域外周の北部山岳区域で井戸水が沸騰・泡立ち・混濁などの異常現象を示したただであったが 烈震区域の前山地区に近づくと 地下水水位の昇降現象があらわれ 震央区域内におけるその水位の上昇ないし下降の変化はきわめて大きく いくつかの深井戸では自流や自噴がおこり 烈震区域の長軸の南北両端では地下水水位異常量がそれぞれ3mと4mであった(第15図)。溧陽 M5.5 地震の前には 震央区域内の前馬人民公社の深さ23mの1本の水井戸で水位が5日間に1.5m上昇し そしてその外周区域の井戸水の多くが変色・変味・混濁などの異常現象を示した。

地下水の水位異常量と異常現象は以上のような空間分布上の特徴を形づくるが その原因は主として地震を発生しようとする過程のなかにある。すなわち まづ第一に震源外周区域では応力に対する調整作用が働らくときに微小断層の蠕動が起り 地下水に沸騰・発泡などの異常現象が生じる。当該応力が次第に震源区域の長軸の端部に集中し それが岩石の強度をこえると その震源体の端部に先行変位が生じ それが次第に震央に向けて発達し その先行変位が上記両端から震源体全体を貫通すると 地震が発生する。震源体の両端に応力調整の要素があるため そこには“席をゆずる”ような条件があって先行変位量が大きくなる。そのことから 烈震区域の長軸の端部で地下水水位異常量が大きくなるのである。

上述の地震前における地下水異常の空間的分布上の特徴によれば 当該地震の震央の位置を予知し 烈震区域の長軸の方向を判定することが可能である。

3. 地下水異常量と地震発生時間

中国のいくつかの大地震の地震発生前における地下水水位異常量の変化からみると 地震発生の時刻が近づくとつれて 異常量がますます大きくなっていく。たとえば 和林格爾 M6.3 地震の前には 震央区域の丁家灰人民公社駱駝咀生産大隊の深さ1.6mの水井戸で 4月4日に井戸水が上昇してその口に達し 翌5日午後には溢れて外に500mも流れでた。そして 6日に地震が発生した。唐山 M7.8 地震の前には 震央区域の玉田県虹橋中学校の深さ457mの深井戸で7月24日午前11時頃から井戸水が外に溢れ始め 以後次第に激しさを加え 同月27日には噴水が地上0.5mの高さに達し 同じく震央区域の豊新県新軍屯化学肥料工場にある深さ180—200

mの5本のポンプ井戸では 4月20日から次第に水圧が下がり 自流井から非自流井に変わり 7月25日には水位の下降量がめだって大きくなり始め そして同月28日に地震が発生した。

このような現象は 地震の前には震源の外周区域から震源の中心に向かって先行変位量が時を追って大きくなり その増大速度が時を追って早くなっていくということであるが そのように地下水異常量が絶えず より大きくなる場合には 大地震が近いうちに発生する可能性がある と警戒しなくてはならない。

4. 地下水の水位異常量と震源の深さ

大地震前の地下水水位異常量は震度の大小を反映するだけでなく 震源の深さとも関係がある。1965年11月13日の烏魯木齊 M6.6 地震は震源の深さが60kmで 地震の前に地下水水位のはっきりとした異常がみられなかったのに 震源の深さがわずかに18kmの和林格爾 M6.3 地震の場合は発生前の地下水水位異常量が1.3mにも達した。この2回の地震の震度にはそれほどの差はなかったが 地下水の水位異常量の差は非常に大きかった。

震源が深い場合には層圧が大きいので 地震前の先行変位量は小さく 地下水水位異常量も小さいが 震源が浅い場合には層圧が小さいので 地震前における先行変位量がある程度大きくなり 地下水水位の変位量も大きくなる。したがって 地下水異常の分布面積が狭く 異常量が小さい場合には震源の深さは比較的深く 地下水異常の分布面積が広く 異常量が大きければ 震源が浅い可能性がある。このような研究分野の資料が比較的少ないので また震源の問題はかなり複雑なので この分野の研究はさらに深める必要がある。

III. 大地震前の地下水異常の時空特性

地震前の地下水異常の出現時間 異常数 異常量 分布面積 分布形状は時間の経過にしたがって発展・変化するが その法則性を把握することは地震発生の時刻の予報に重要な意味をもっている。

1. 地下水異常の出現時期

大地震前における地下水異常の出現時期は一般的には地震発生前10余日[11]であるが 2—3か月のこともある(第3表)。M7以上の大地震の場合には地下水異常が早くあらわれ とくに早いものでは地震前3か月であるが M7以下の強震では地下水異常がもっとも早い場合でも20日前からである。しかしいずれの場合も 地震前10日以内にならないと当該異常現象は明瞭にならず

第3表 中国の大地震発生前における地下水異常の出現時期

地震発生日	震 央 の 位 置		マグニチュード	地 下 水 異 常 出 現 時 期
1920. 12. 16	寧夏回族自治区	海原	8.5	地震発生前3—5日 異常域全域に拡がり かつ激し
1973. 2. 6	四川省	炉霍	7.9	〃 2か月 2—3日前には異常域全域に拡がり かつ激し
1976. 7. 28	河北省	唐山	7.8	〃 3か月 1—2日 〃
1970. 1. 5	雲南省	通海	7.7	〃 10日余り 1—2日 〃
1976. 5. 29	雲南省	竜陵	7.6	〃 40日 2—3日 〃
1955. 4. 14	四川省	康定	7.5	〃 2日 〃
1969. 7. 18	渤海湾		7.4	〃 1—2日 〃
1975. 2. 4	遼寧省	海城	7.3	〃 2か月 4日前には異常域全域に拡がり かつ激し
1966. 3. 22	河北省	邢台	7.2	〃 1—3日 異常域全域に拡がり かつ激し
1976. 8. 16	四川省	松潘	7.2	〃 3か月 10日前には異常域全域に拡がり かつ小範囲に比較的集中
1974. 5. 11	雲南省	永善	7.1	〃 50日 1—3日前には異常域全域に拡がり かつ激し
1935. 4. 21	台湾省	新竹	7.0	〃 14日 〃
1938. 8. 1	山東省	荷沢	7.0	〃 3—4日 〃
1966. 3. 8	河北省	邢台	6.8	〃 10日余り 1—3日前には異常域全域に拡がり かつ激し
1971. 3. 24	青海省	都蘭	6.8	〃 〃 12時間前から激しくなる
1976. 4. 6	内蒙古自治区	和林格爾	6.3	〃 20日 1—3日前には異常域全域に拡がり かつ激し
1945. 9. 23	河北省	灤県	6.2	〃 1日 〃
1971. 3. 24	新疆ウイグル族自治区	烏什	6.1	〃 3日 〃
1929. 1. 14	内蒙古自治区	華克齊	6.0	〃 1—2日 〃
1935. 5. 5	台湾省	後優溪	6.0	〃 14時間 〃
1979. 7. 9	江蘇省	溧陽	6.0	〃 20日 〃
1961. 6. 12	雲南省	騰冲	5.8	〃 1日 〃
1974. 4. 22	江蘇省	溧陽	5.5	〃 20日 1—4日前には異常域全域に拡がり かつ激し
1975. 1. 12	雲南省	楚雄	5.5	〃 10日余り 1—2日 〃
1970. 12. 3	寧夏回族自治区	西吉	5.4	〃 5日 〃

地震による異常と判断し難い。さらに地震に直面した3—5日前になれば 当該異常は拡がって しかも顕著になり その異常量もいちじるしく大きくなる。そのため 地下水の異常変化は短期地震予報と直前地震予報に非常にすぐれた効果を発揮し 地震予報のための一つの有効な方法となり得る。

2. 地下水異常の時間的变化

中国でのいくつかの大地震はその発生の2—3か月前にまづ震央区域の外周地域に地下水異常をもたらし それから地下水異常は次第に震央に集中していき 一般に震央区域には地震の10日ばかり前に地下水異常があらわれ 烈震の場合には3—5日前から大量に地下水異常があらわれる。

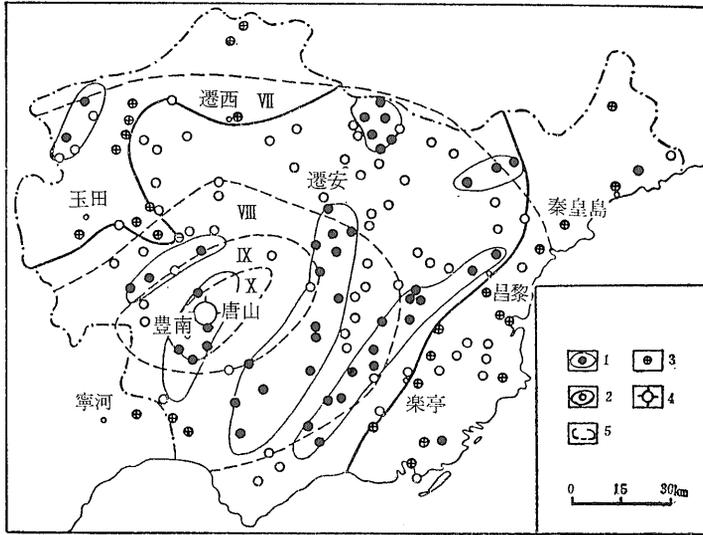
例として まづM5—6の地震をあげてみよう。すなわち 溧陽 M5.5地震の20日前に震央区域の外周地域の金壇県で井戸の水位が徐々に下降し始め 1週間前には水が涸れてしまったが 地震後に水位は回復した。地震の5日前には震央区域内の前馬人民公社の地下水の

色と味が変り その水位が1.5m上昇し 1日前には茶亭鎮の井戸水の水位が上昇して地表に達した。

楚雄 M5.5地震の10日ほど前に外周地域の温泉の水温が48°Cから43°Cに下がり 2日前には震央区域の井戸の水位が3.3mも上昇し 一車ダムの水面に幅6—7m延長2,000mの発泡帯が出現して地震直後に消えた。

和林格爾 M6.3地震では 震央から55km離れた涼城県の三蘇木で井戸の水位が1975年5月から長期にわたる下降を始め 同じく震央から31km離れた和林格爾県で1976年2月11日に始まった地下水水位の下降は徐々に進んで40cmとなり 震央から22km離れた山西省右県の黄家天では3月中旬に地下水異常が始まり 水位が次第に下がってその下降量は2.6mに達し 4—5日前になって震央区域内にも地下水異常現象があらわれ 2日前には同区域の地下水水位が1m上昇して 井戸水は地上に溢れてた。

唐山 M7.8地震が発生する5日前 主として震央区域外周東部の沿海地域と外周西部の遷西・尊化・玉田などの諸県に地下水異常があらわれ 3日前になってその異



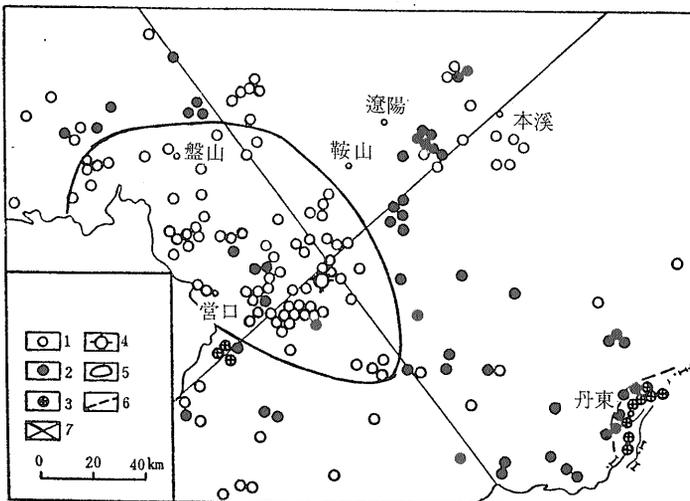
第16図
唐山地震発生前の地下水異常発生時間の分布
1—16時間前に出現した異常地点とその範囲
2—1—2日前に出現した異常地点とその範囲
3—3日前に出現した異常地点とその範囲
4—震央
5—一等震線

常が震央区域付近に 1—2日前には震央区域内に出現し 16時間前からは主として激震・烈震区域に集中した (第16図)。

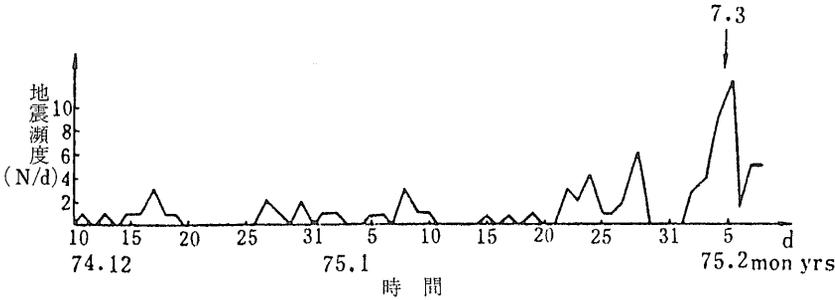
海城 M7.3 地震の前 1974年12月に震央区域の東側外周の丹東一帯にいく組かの地下水異常があらわれ それに1975年1月には震央区域西側の錦州と義県 南側の營口と旅大 北側の本溪と鞍山に出現し 2月初めには震央区域の海城・盤錦一帯の烈震・激震区域内にあらわれた (第17図)。

上述の地下水異常はつねに周囲の地域から震央区域に向かって次第に集中していく特徴をもっている。これは主として地震が準備される過程のなかで まづ第一に震

源外周区域で応力に対する補償作用を進行するために断層が微小な滑動を行って地下水に異常現象をおこさせる場合には緩慢な長期傾向の異常を出現させることと密接な関係がある。震源体に応力が集中すると震源の断層面の両端に先行変位が生じ 当該区域に地下水異常現象をもたらす。この先行変位が次第に震源体を貫ぬいていくと 地下水異常も震央に向かって発展していく。そして 震源体の端部から中心に向う先行変位の発達速度が徐々に加速することによって 地下水異常の出現の時間間隔は短くなっていくのである。したがって地下水異常が四周から次第に中心部に向かって発展するときには その異常現象は地震の前兆と判定することがで



第17図
海城 M7.3 地震発生前における地下水異常出現時間の分布
1—1975年1月末—2月4日の地下水異常出現地点
2—1975年1月末以前の地下水異常出現地点
3—1974年12月の地下水異常出現地点
4—震央
5—地震発生前5日間の地下水異常出現範囲
6—地震発生前2か月間の地下水異常出現範囲
7—地下水水位上昇・下降象限



第18図
海城地震発生前における丹東地区の地下水異常出現濃度

き 同時に当該異常の発達傾向にもとづいて震央の位置と地震の発生時間を予知することも可能である。

3. 地下水異常の出現数の変化と最盛期の形成

中国の大地震では その発生前の比較的早い時期に地下水異常があらわれ 当初はその異常発生数が少ないが以後次第に多くなっていく。ただしその異常発生数は直線的に多くなるのではなく 地震の前には何回も高潮期が形づくられる。海城地震の前 1974年12月10日から地下水異常があらわれ その月には20件の地下水異常が生じ 同月17日に第1回目の高潮期が形づくられ 同22日に蓼窩ダムで M4.8 の地震が発生したあと地下水異常の件数は減らず 1975年1月には件数が増加して81件に達し そして同8日に第2回目 同28日に第3回目の高潮期が形づくられた (第18図)。地震発生直前の2月1日から4日までの間に異常発生数は多くなって140件に達し また一つの高潮期をつくり その直後に地震の発生となった。

唐山地震の場合 4月から6月にいたるまでの地下水異常の発生件数はわずか15件にすぎなかったが 7月1日から25日までの間に地下水異常は増加して200件になり 7月26日の地震発生前々日になると急増して580件に達した。

松潘地震では 6月15日から7月3日にいたる間に異常が82件発生して第1回目の高潮期をつくり 7月4日から28日の間には69件発生して第2回目の高潮期 8月2日から14日にいたる間には同じく地下水異常が202件になり 第3回目の高潮期をつくった。

以上のような特徴が生れた原因は主として地震発生前の先行変位にあり 全体の傾向としては先行変位量が大きくなればなるほど変位速度も次第に早くなるが 先行変位部分が変位を大きくしたり 停止したりすると 地下水異常に高潮期と静穏期の交替現象があらわれ その異常の経過は波形状の変化をする。地震前の地下水異常には何回かの高潮期があるとはいえ 現在のところそ

の高潮期を途中で高潮期と断定する方法はない。しかし地下水異常の件数がひきつづき増加し 鮮明な波形状を示す特徴があれば これを地震の前兆と断言することができ 大地震の発生をいつ・いかなるときでも予期し警戒する必要がある。

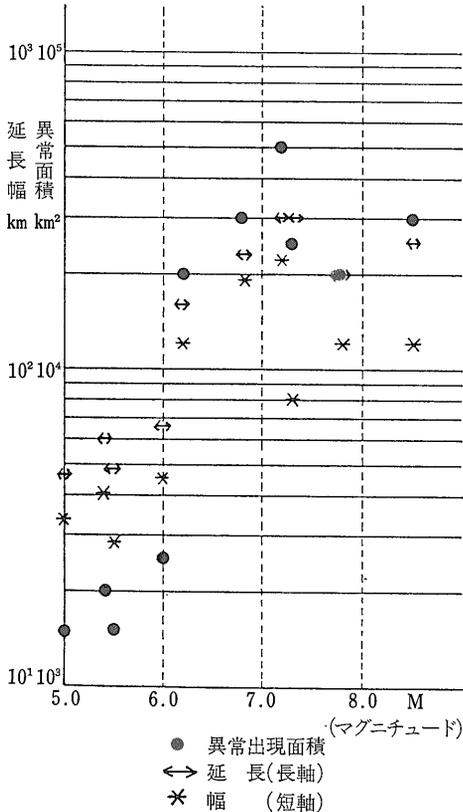
む す び

この十余年来 中国の大地震前における浅層地下水の異常には広域分布 異常量変化 時間的変化などに特徴があり いずれも一定の法則性を備えているが 地震因子によらない地下水の変化は上述の諸変化に法則性を備えていない。このことは その時々の地震の前兆と外界のノイズ因子とを識別する上で実際的な一定の意義をもっている。同時に 上述の地下水の異常特性にもとづいて総合的な分析を進めれば 震央の位置や震度の大小 地震発生時間が予知可能である。したがって 大地震前における地下水異常の特徴の研究と総括は地震予知の水準を高め 一定の応用価値も備えている。

各地の水理地質条件が異なっているため 震源に関する情報は比較的複雑なものとなり 現在のところ地下水による前兆の特徴については定性的に分析可能だけである。今後は広大な面積にわたる地下水観測網を必ず採り入れ 積極的に深層地下水の観測と研究を展開し 定量的な解析を一步一步実現し 地震前の地下水異常による具体的な指標を探りだせば 地震予知・予報の難関は突破できるであろう。

後 記 (高橋博)

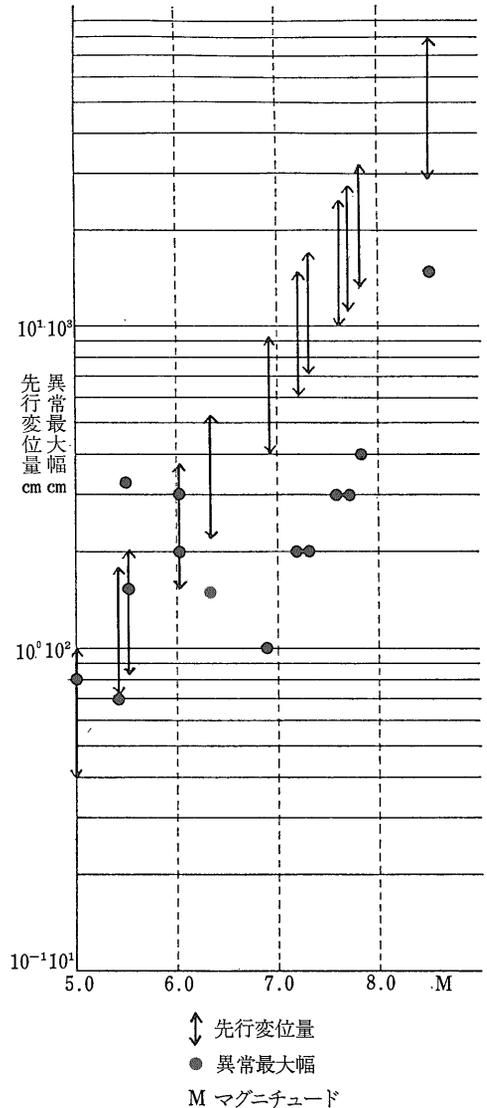
I. 第1表を図解すると 図Aが得られる。この図をみる限り 異常面積 長軸 短軸とも M6.0 を境として レベルが異なるという印象をうける。第2表を図示すると図Bのようになり この図をみる限り 最大変動度が $M > 6^{1/2}$ については規模と比例しているようにみえる。第3表を図解すると 図Cが得られる。記載の不明確なところもあって 図Cの表現は十分に適切



図A 中国大地震発生前の地下水異常出現面積と地震規模との関係

とはいえなが 最初に異常があらわれる時期は $M > 6\frac{1}{2}$ の場合が 2—3 箇月前 $M = 6.0 \pm \frac{1}{2}$ の場合が 10—20 日ほど前 $5 < M < 5\frac{1}{2}$ の場合が 5—10 日程前と思われる。 それに比較し 直前異常は規模に関係なく 10— $\frac{1}{2}$ 日の範囲で とくに 1—3 日の間に集中していることは注目すべきであろう。

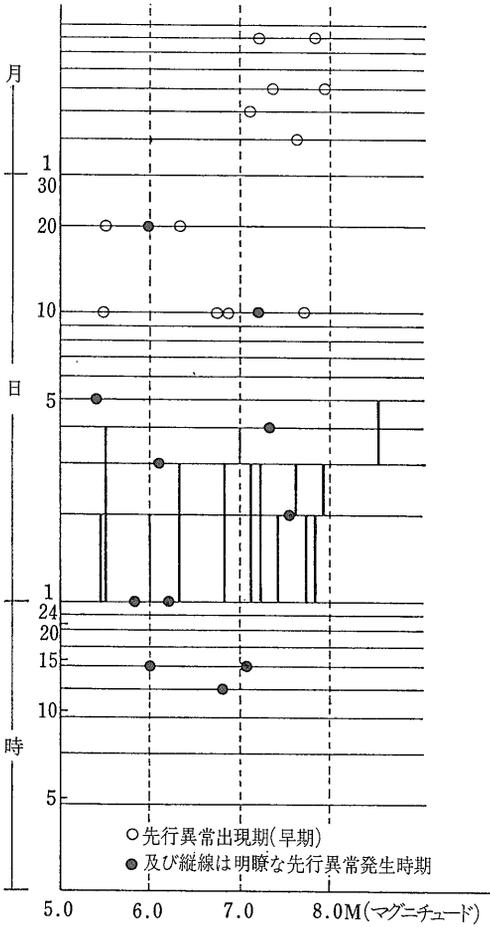
II. わが国の地震前の地下水異常についての集中的な研究は 松代地震を対象にして行われた。 その一つが水産大学教官(同大学出身)の春日功によるもので地震活動の推移と地下水湧出量・水温の変化との関係が分析され 松代地震が活発だった第1活動期後半から第3活動期にかけてのその関係が明らかにされた(図D)。 とくにその第2活動期(1966年3月上旬—1966年7月)では地震発生の半日ないし数日前に湧出量の減少があり(図E) 春日功によって強震が予知された。 また1960年8月3日には震度Vの強震とともに地震活動が活発化し第3活動期を迎えたのであるが 松代温泉の湧出量が急激に増大したことが水管傾斜計による地殻変動のいちじるしい変化とあわせて第3の活動期に入ったことの判定



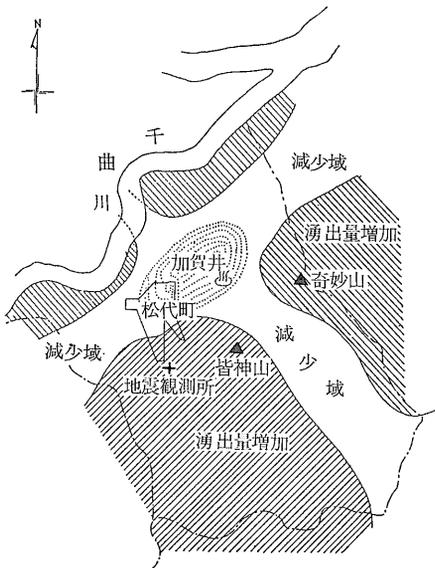
図B 中国大地震発生前の地下水位の先行変位量および異常最大幅と地震規模との関係(第2表より)

の根拠となった。

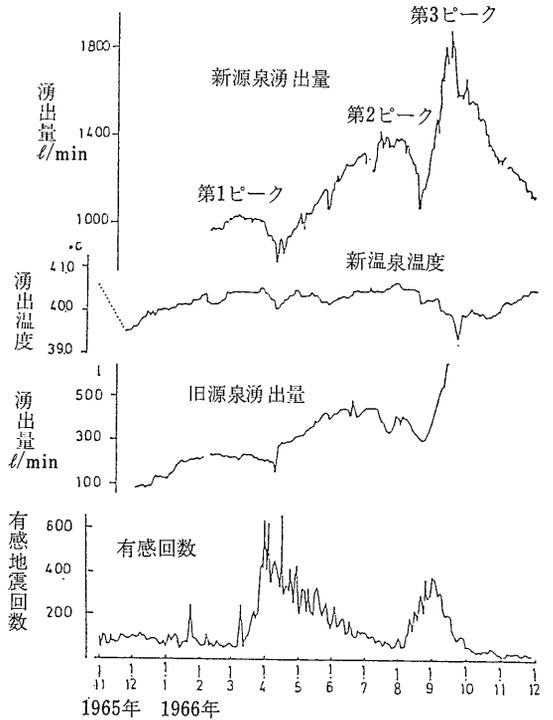
地震が松代地震断層(NW—SE走向)とそれに直交する断層帯から強震が発生する場合は湧出量が減少し 他の地域で発生する場合には逆に増大するという興味深い現象もみられた(図F)。 なお この第3活動期には松代地震断層沿いに Cl^- 濃度の高い地下水が大量に湧出し これと交差する断層帯から弱アルカリの地下水がこれまた大量に湧出した。 いずれも地下深部から上昇してきたもので CO_2 に富む一方 O_2 をほとんど含まない酸欠水であった。 そのため どちらの系統の地下水の場合も それが大量に湧出したところではリンゴなどが枯れたのである。



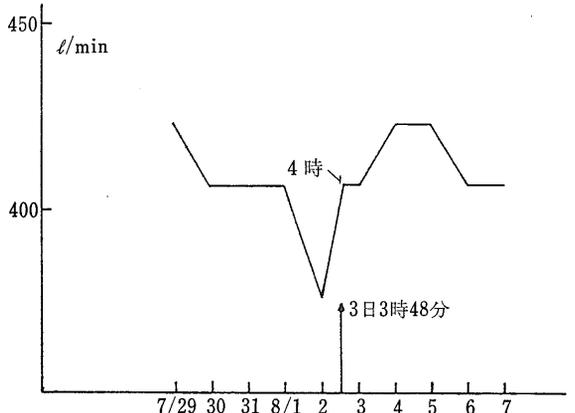
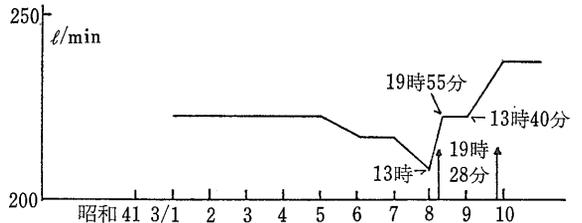
図C 中国大地震発生前の地下水異常の出現時期と地震規模との関係(第3表)



図D 松代加賀井温泉の湧出量と松代地震活動との関係



図E 松代加賀井温泉旧湯井の地震前における湧出量の変化2例(春日 1967による)



図F 松代加賀井温泉湧出量に影響を与えた松代地震の震央域