

2. 那須野原

(1) 地形・地質

那須野原は、栃木県北東部に約 400 km²の広がりをもつ、わが国有数の扇状地である。那須野原の北西背後地は新第三紀の堆積岩や火成岩からなる下野山地と、これを被覆する那須火山群からなっていて、那須野原はこれらの背後山地から南東側に流れ出る那珂川、木俣川、蛇尾川、箒川などの諸河川によって形成された複合扇状地である。扇頂部の標高は 500~560 m、扇端部の標高は 180 m であり、その比高は 380 m に及んでいる。扇頂から扇端までの水平距離は 20 数 km あり、平均勾配は 1.6/100 となるが、扇頂部は急で 3/100、扇央から扇端にかけては 1/100 と緩傾斜になっている。

この扇状地の北東縁部と東縁部は、那須火山に端を発して南流する那珂川を介して、丘陵性の那須火山の裾野および中、古生層の八溝山地に接している。また、南縁部は高原火山を発して南流または東流する箒川を介して、喜連川丘陵に接している。扇状地の中には、図 2-3-36 に示す

表 2-3-10 那須野原およびその周辺の地質層序 (文献⁽¹⁾ (2) (4) (9) (10) (11) (12) をもとに対比)

地質時代	下野山地		那須野が原		八溝山地		
	高原火山	那須火山	(阿久津1962による)	(渡部・提橋・新藤1960による)			
新 四 生 紀 代	完 新 世	茶臼岳溶岩		現河床砂礫層	現河床砂礫・藤岡田ローム	現河床砂礫○	
		黒ボク		黒ボク 上黒礫砂礫層	黒土	黒ボク	
	更 新 世	高原火山放出物	那須火山放出物	横林・折戸砂礫層	栗川砂礫層	段丘礫層 △	段丘礫層○
				田原ローム層	那須ローム層	那須ローム層	那須ローム層
				那須野原砂礫層 ●	那須扇状地礫層 ●		
				宝積寺ローム層	鳥の目ローム層	鳥の目ローム層	鳥の目ローム層
				金丸原砂礫層△	鳥の目砂礫層○		
	新 世	黒礫泥流相当層	黒礫泥流堆積物	埼玉ローム層○ 鍋掛礫層			
		和田山火山角礫岩	館の川凝灰岩	館の川凝灰岩	大田原浮石層	大田原浮石層相当層	
		館の川凝灰岩		(分離丘陵構成層)			
		境林礫層	境林礫層相当層	境林礫層 †	相の沢火砕岩 柳林礫層 †	境林礫層 †	
	世	塩原湖成層	塩原湖成層相当層				
		高原火山基底放出物	高原火山基底放出物				
		石英安山岩・貫入岩類					
新 第 三 紀	鮮新世	石英安山岩・貫入岩類					
	中新世	関谷層(凝灰質頁岩・砂岩・礫岩)	海成中新統	海成中新世層	荒川層群		
		鹿股沢層(変朽安山岩・凝灰質岩)	グリントフ		中川層群		
古第三紀	流紋岩類・花崗岩類				花崗岩類		
中 生 代	白亜紀						
	ジュラ紀		?	?	益子層群		
	三疊紀	頁岩・砂岩・チャート			八溝層群		

†: 被圧帯水層 ●: 有能な不圧帯水層 ○: やや有能な不圧帯水層

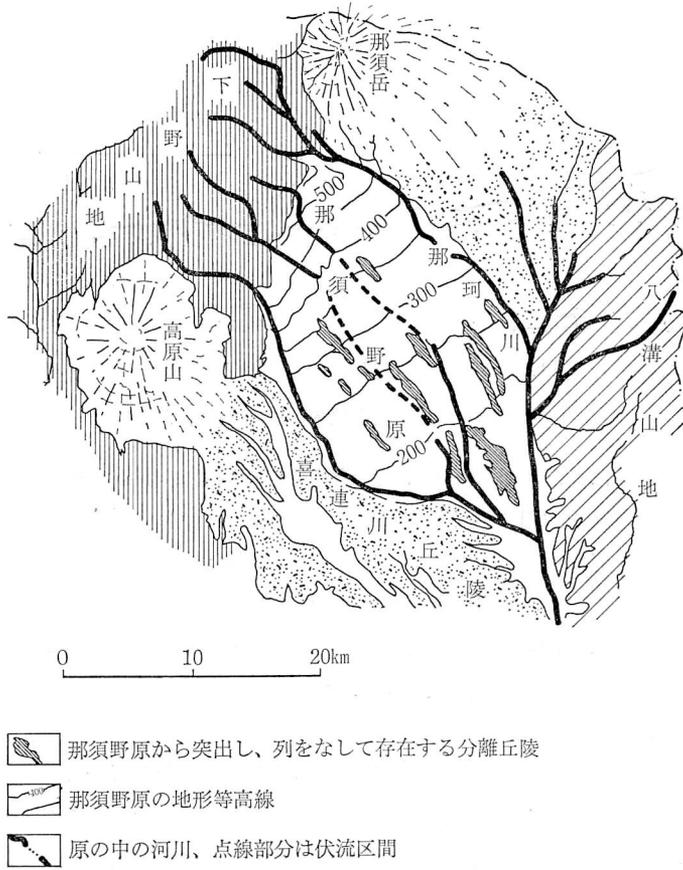


図 2-3-36 那須野原および周辺の地形区分

とおり、北西から南東に伸びる分離丘陵⁽⁴⁾が 10 列近く並んで分布している。この分離丘陵は、かつての一連の丘陵もしくは丘陵性台地が扇状地砂礫層によって埋積され、頂部もしくは中腹以上が埋め残されてできあがったものである。

この地域を構成する地質の層序と構造は、表 2-3-10 および図 2-3-37 のようにまとめられる。すなわち、那須野原は、その西縁部の下野山地との境界にある関谷断層と東縁部の八溝山地との境界にある白河断層の間に挟まれて、北北東から南南西に連なる幅 20 数 km の地溝帯の一部を形成している。

那須野原の構造盆を埋める堆積物は、塩原温泉の木ノ葉石として有名な塩原層群に対比される地層、那須火山や高原火山の初期の噴出物と同時異相の関係にある境林礫層⁽¹⁵⁾、館ノ川火砕流⁽¹⁰⁾などに対比される地層および新旧各種の扇状地砂礫層である。

分離丘陵を構成し、扇状地砂礫層の基盤を構成する地質は、^{なて}館ノ川凝灰岩⁽¹⁰⁾、大田原浮石層⁽⁴⁾と呼ばれる軽石流堆積物で、喜連川丘陵一帯にも広く分布している。下位の軽石流は水食によってその上部が失われており、上位の軽石流の最下部数 m は水中堆積を示す層理が観察でき、中部の一部は弱く溶結している。上位の軽石流の上部は軽石やその細粉の粘土化が著しく、本層は全体として難透水層の役割を果たしている。

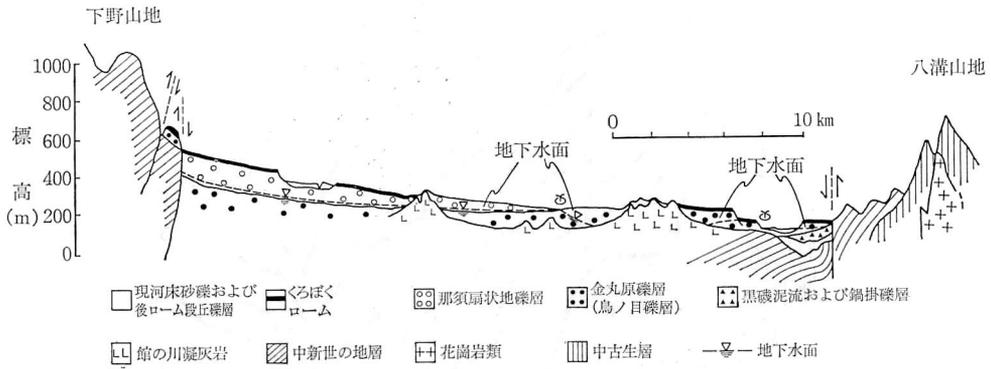


図2-3-37 那須野原模式地質断面図

館の川凝灰岩の下位には、境林礫層⁽¹⁵⁾、塩原湖成層相当層がある。境林礫層は、喜連川丘陵の主体をなすもので、風化作用を強くうけており、全体にいわゆる“くされ礫層”となっており、必ずしも有能帯水層を形成しない。また、本層は、西に向かってまた下部に向かって、粘土層や水成の火山灰層の頻度が増し、層相が塩原温泉の木ノ葉石を含む地層に酷似してくる。

館の川凝灰岩の上位に重なる地質は透水性、貯留能ともに優れた砂礫層が主体で、これに火山灰質ロームなど当時の火山活動の産物を伴っており、新旧各種の扇状地や段丘とこれらを開析した低地に分布している。

那須野原は、ひとくちに扇状地といわれているが、急斜面を介していくつかの平坦面が識別され、それぞれの平坦面に対応した時代の異なる礫層が認められている。これらの礫層は、古い方から、鍋掛礫層、金丸原砂礫層、那須扇状地礫層、後ローム段丘礫層および現河川氾濫原堆積物に区分されている。

鍋掛礫層是那須火山の活動の初期に噴出した黒礫泥流と密接な関連をもって堆積したもので、黒礫泥流の間に挟まれた円礫層として認められる⁽⁴⁾。礫は下野山地を構成する流紋岩や石英安山岩からなり、拳大以下の大きさのものが多く、ときに黒礫泥流の構成礫である輝石安山岩の巨角礫を伴っている。泥流堆積物は透水性、貯留能ともに小さく、不透水層の役割を果たしている。鍋掛礫層は連続性に乏しく、帯水層としても有能でなく、水文地質的に若干の例外を除いて、泥流堆積物と一体として扱った方がよい。

那須野原に最も広く発達する地形面は北西から南東に向かって高度を減じ、現河床面とは上流部で数十 m、下流部で数 m の段丘崖をなして接する扇状地である。この地形面が那須野面であり、この扇状地を構成する地質が那須扇状地礫層⁽⁴⁾と呼ばれているものである。この礫層の礫は石英斑岩、流紋岩、溶結凝灰岩、輝石安山岩など下野山地に起源をもつものからなっている。扇頂部は巨礫からなり、厚さは数十 m である。扇央、扇端へとさがるに従って、礫径は中細礫となり、地層の厚さも 20~10 m 程度になってくる。那須扇状地礫層は連続性に富み、透水性、貯留能ともに大きいため、那須野原で最も有能な帯水層を形成している。しかし、扇状地の中、上流部東北本線より西北側の部分では、地表から地下水面までの深さが 15 m 以上あり、中には 30 m 掘っても地下水面に達しないところが多い。したがって、いまでも扇央部より上流部では

井戸は少なく、作井、揚水技術が進歩するまでは、地下水は下流部でしか活用できなかった。

那須扇状地礫層は厚さ 1~2 m の黄褐色ローム層と厚さ十数 cm~数十 cm のくろぼく層に覆われている。くろぼく層は産出する土器から縄文期の産物、ローム層は黒バンドの夾在状態などから立川期、田原期の関東ローム層に対比されている。ローム層の下位にある那須扇状地礫層は、武蔵野期から立川期にかけて、下野山地の隆起最盛期に堆積したものと考えられる。

南東に向かって高度を減じる那須野面より 5~15 m 高い段丘面が、東北本線以東の区域に前述した分離丘陵に付随する形で分布しており、金丸原面と呼ばれている。構成地質の金丸原礫層⁽¹⁰⁾は中砂を伴う細~中礫からなっている。厚さは 10 m 強の半ぐされ礫層であり、館の川凝灰岩を不整合に覆い、表層は約 10 m のローム (田原ローム・宝積ローム)、20 cm 前後のくろぼく層に覆われている。本層の構成礫は、第三紀火成岩類のほかに、粘板岩、砂岩、チャート、花崗岩を伴っている。この段丘面の北西端是那須扇状地礫層に覆われている。したがって、金丸原礫層の地表露頭は東北本線の北西側ではみることができないが、那須扇状地礫層の下に広く分布するものとみられている。現に、扇状部における深度 15 m を超える素掘井戸の下部に、ローム層を介した本層の北西延長が認められている。

黒磯の上流 4 km、那珂川右岸の段丘崖の河床から 10 m 上ったところに鳥の目湧水と呼ばれる湧水群がある。これは、図 2-3-38 に示すとおり、黒磯泥流を浸食した谷を埋めた礫層に帯水した地下水の露頭である。この帯水層となる礫層は鳥の目礫層と呼ばれ、露頭での厚さは 15 m に達している。本層は、上部を構成する礫の一部が風化作用を受けて半ぐされになっており、礫層中に火山灰起源の黄褐色ロームを混え、厚さ 2 m 以上の黄褐色ロームを介して那須扇状地礫層に覆われることなどから金丸原礫層と共通点をもっており、これと密接な関係をもつ一連の堆積物とみられている。金丸原礫層とその相当層は、層厚が薄い場合は、全層がロームを伴う半ぐされ礫層となっていて、帯水層にはならず、むしろ那須扇状地礫層の一部に一時的に帯留する宙水の不透水性地盤の役割を果たしている。

那須扇状地砂礫層の上面は厚さ 10~20 cm のくろぼく層に被覆されているが、この那須面を浸食して少なくとも 2 段の段丘面と現河床氾濫原が発達する。前者の構成地質を後ローム段丘砂礫層と呼び、後者のそれを現河床砂礫層と呼ぶ。いずれも透水性、貯留能ともに優れているが、

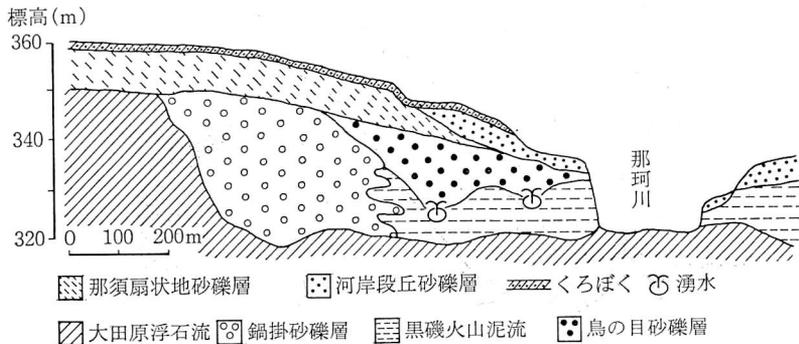


図 2-3-38 鳥の目湧水地点の水文地質断面図 (文献(6)に一部加筆)

河川沿いに細長く分布するにすぎないため、水文地質的な意義は大きくない。ただし、那須扇状地の扇頂部を刻んだ蛇尾川沿岸には、ロームやくろぼく層を被覆しない砂礫層が比較的広く分布して、雨水の地下浸透を助長している。

(2) 地下水

下野山地から流れ出る蛇尾川や熊川の水は、関谷断層を過ぎ那須野原扇状地の扇頂部で地下に伏設するため、養沼、芽の沢より下流の蛇尾川や熊川は水無川になっている。扇頂部で伏設した水は、扇状地全体から浸透した雨水と合して、扇状地礫層の下部に帯水する不圧地下水となってゆっくり流れ、蛇尾川では大田原市の^{いまいずみ}今泉、熊川では町島のいずれも標高 240 m 付近で再び地表に湧き出し、湧泉を形成し、地表水となって流下している。

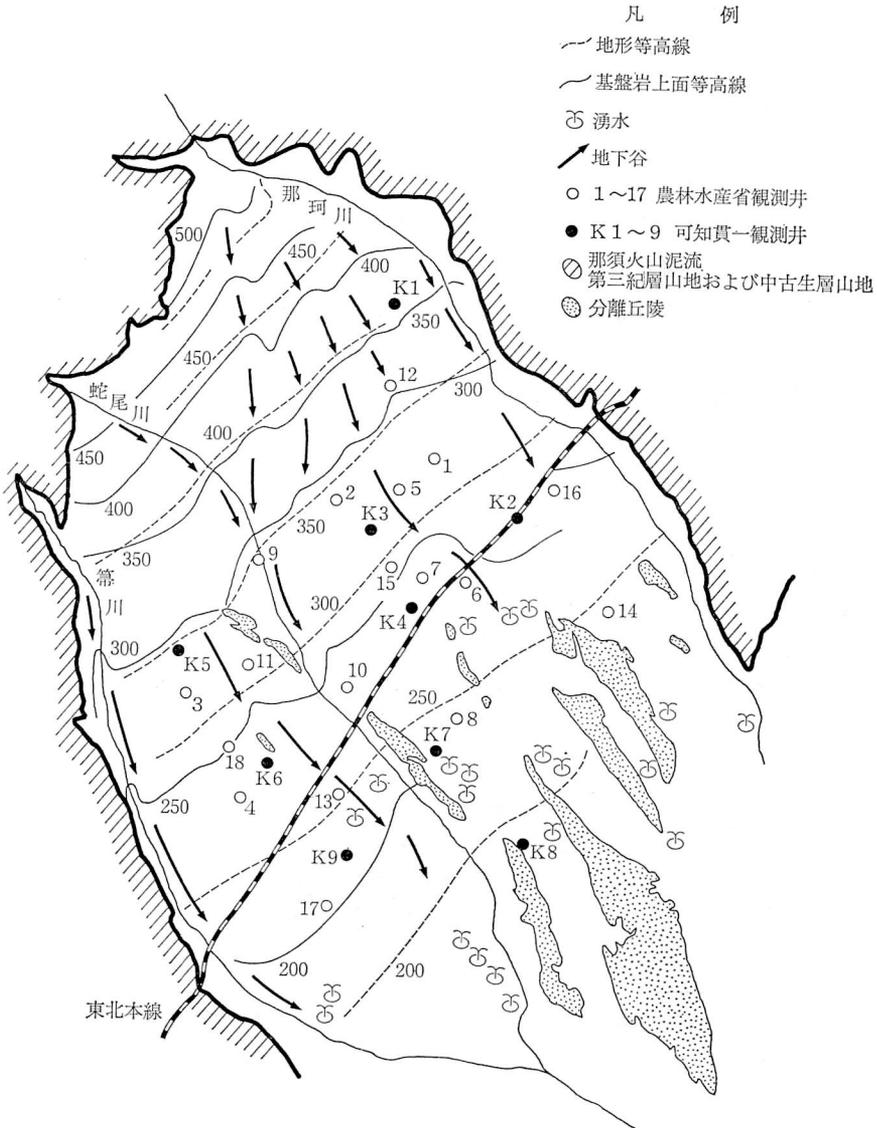


図2-3-39 不透水性基盤上面等高線図

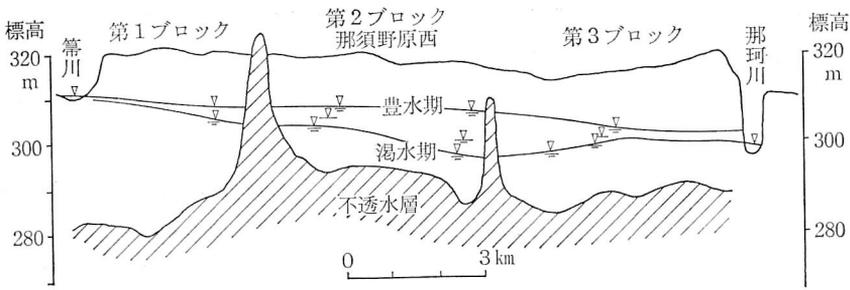


図 2-3-40 上中段境界断面図

那須野原の大部分の地域では、那須扇状地礫層の下部が不圧帯水層となっているが、排水条件の良いところでは、那須扇状地礫層の下位の金丸原砂礫層と鳥の目礫層が帯水層を構成している。これらの砂礫層の下位に重なる館の川凝灰岩層（大田原浮石層）と黒炭泥流層は不透水層ないし難透水層となっていて、那須野原扇状地の不圧地下水の基盤を形成している。

不透水性基盤を構成する館の川凝灰岩層の上面地形は図 2-3-40 および図 2-3-41 に示すとおり、起伏に富んでおり、北西から南東に流れる 10 本以上の地下谷を形成している。さきに述べた金丸原礫層、鳥の目礫層および那須扇状地礫層は、この地下谷を埋積した地層である。那須野原から突出して断続的に分布する分離丘陵は、かつての丘陵が埋積をまぬがれた部分に相当している。したがって、那須野原の不圧地下水は、分離丘陵と扇状地砂礫層によって埋積されたかつての丘陵の稜線によって小地下水区に分断され、それぞれ独立に地下谷に沿って流れている。地下谷の中心部は水量が豊富で、日量 2,000 m³ 以上の揚水も容易である。これに対して、地下稜線部の井戸は日量 300 m³ の揚水が困難な場合も少なくなく、地下水位の季節的変化も大きく、非かんがい期に湛水しないものさえある。また、豊水期以外は地下水区相互の水のやりとりはみられない。

図 2-3-39 に示す不透水性基盤上面の等高線は、分離丘陵周辺に分布する井戸の井底または井壁にみられる館の川凝灰岩の上面高度と、さらに既知点および未知点における数多くの電気探査結果をもとに作成したものである。

この図をみると、鳥の目湧泉は、扇状地東北端の地下谷が現在的那珂川をつくる段丘によって切られた出口に当り、東那須野から熊川に連なる地下谷は地下で木ノ俣川流域に連なっており、標高 240 m 以下にみられる扇端湧泉は地下谷の下流部にあることなどがわかる⁽²⁴⁾。なお、不透

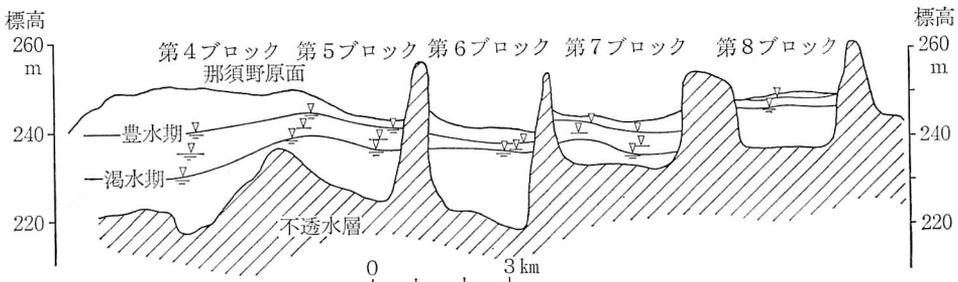


図 2-3-41 中下段境界断面図

水性地盤の上に重なる砂礫層は扇頂部に向かって、次第に厚さと粒度を増しているが、扇端部では、扇状地砂礫層は薄くなり、湧水帯では 10 m 以下となっている。

不透水性地盤を構成する館の川凝灰岩層は、那須野原の地下では、40~70 m の厚さを持ち、その下位には柳林礫層および塩原湖成層に相当する地層があって、被圧帯水層を形成する。しかし、この深層の地下水は開発されてから歴史が浅く、深井戸の数も少ないため、詳しいことはわかっていない。ただ、那須野原の扇央部では、比較的豊富で、深さ 50~80 m の井戸で日量 700~800 m³ 得られ、地下水位の年間変動も小さい。しかし、一般に水位降下が大きく、中には、日量数十 m³ しか得られない井戸もある。扇頂部では、被圧水頭も地表から深いところにあり、水中モータポンプの揚程をはるかに超え、利用可能な資源にならない場合もある。扇端部では、

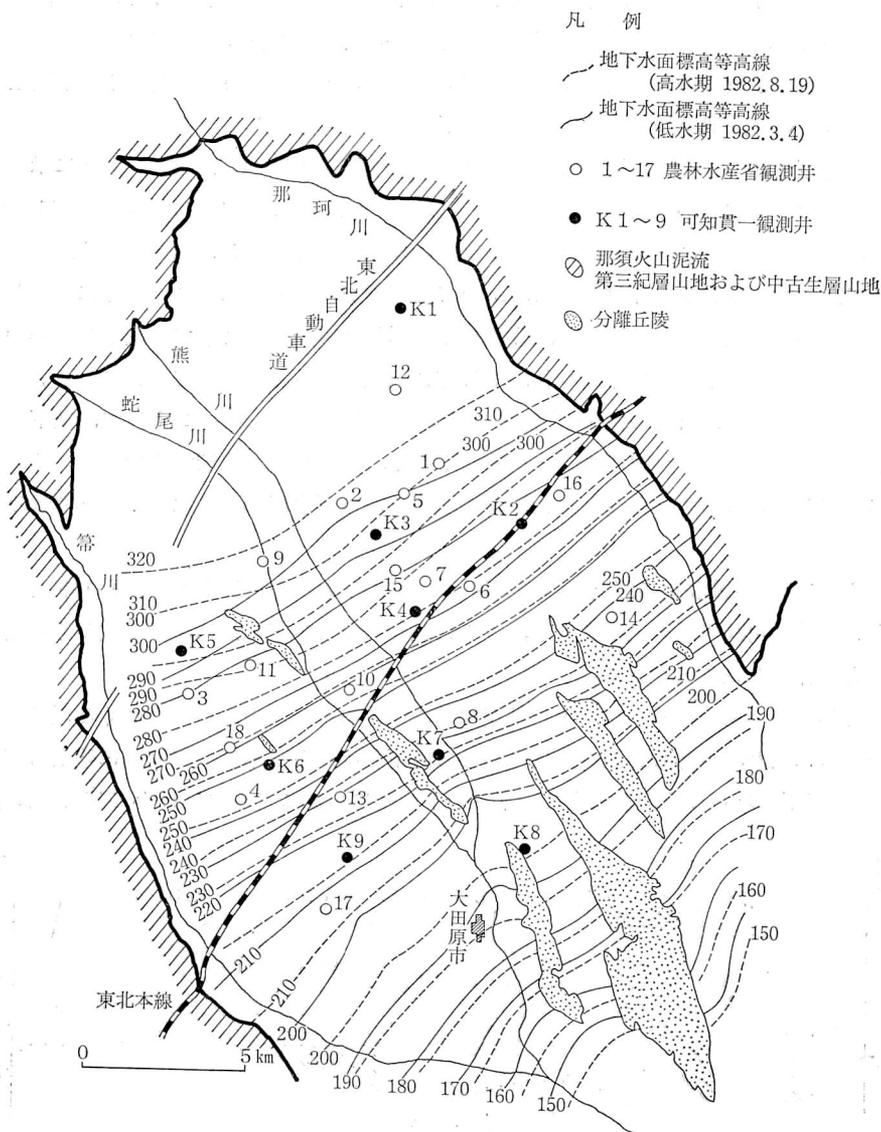


图 2-3-42 那須野原不圧地下水面等高线图

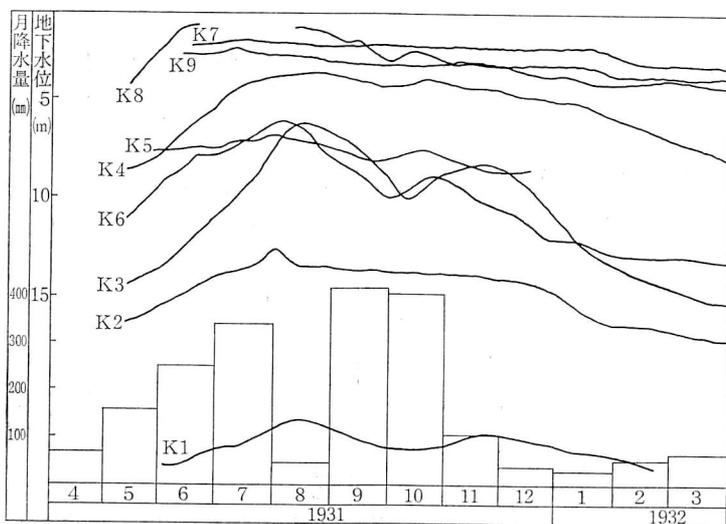


図 2-3-43 那須野原不圧地下水位の年変化⁽¹³⁾
(位置は図 2-3-42 に示す)

不圧地下水が湧泉を通して地表水化しているため、井戸による地下水開発は館の川凝灰岩の下位の柳林礫層またはその相当層に帯水する被圧地下水に限定される。柳林礫層を欠除していきなり不透水性基盤である第三紀層や中、古生層が顔を出すこともあり、あらかじめ十分な水文地質調査を行う必要がある。

那須野原の不圧地下水は、図 2-3-42 に示すとおり、北北西から南南東に向かってゆっくり流れている。地下水面の勾配は、扇頂部で 1/50、扇中部で 1/130 となっていて、地表面の勾配より緩やかであるため、大田原市街地など旧陸羽街道沿いでは地下水面が浅いところにあり、ところどころに湧泉がみられる。上流に向かうにつれて、地表面から地下水面までの距離が増し、東北自動車道周辺では 25m 前後、扇頂部の一部では深さ 100m を越えるものさえある。那須野原扇状地を流れる蛇尾川や熊川は、扇頂部で流水の全量が地下浸透し、扇端湧水帯まで地表水をみないのが通例である。したがって、この扇状地の扇中部から扇頂部にかけての地域は、古くから地下水の流れに関心がもたれ、この地域の不圧地下水位の時系列変化を把握するための観測が古くから何回か実施されている。ここに、興味深い 2 例を図 2-3-43、図 2-3-44 に示す。

図 2-3-43 は可知 (1940)⁽¹³⁾ が地下ダム建設を提唱した那須野原水利開発計画論を展開するための基礎資料として示したものであるが、那須野原の不圧地下水の動態を要領よく説明している。すなわち、地下水面の勾配は北北西から南々東に向かって緩やかにさがっている。地下水は、雨水の垂直浸透および上流からの浸潤によって、地下水面の高いところから低いところへとゆっくり流れている。

地下水位の時系列変化は、熊川、蛇尾川の伏流水や那須疏水およびその受益耕地からの浸透水の影響を受けて局部的に異なった態様を示している。

K-1、K-2 井是那須野原の北部にあって、帯水層は地表から 20m 程度の深い位置にあり、蛇尾川などの影響は大きく受けていない。地下水位は、春先に最低、盛夏に最高となる年変化をた

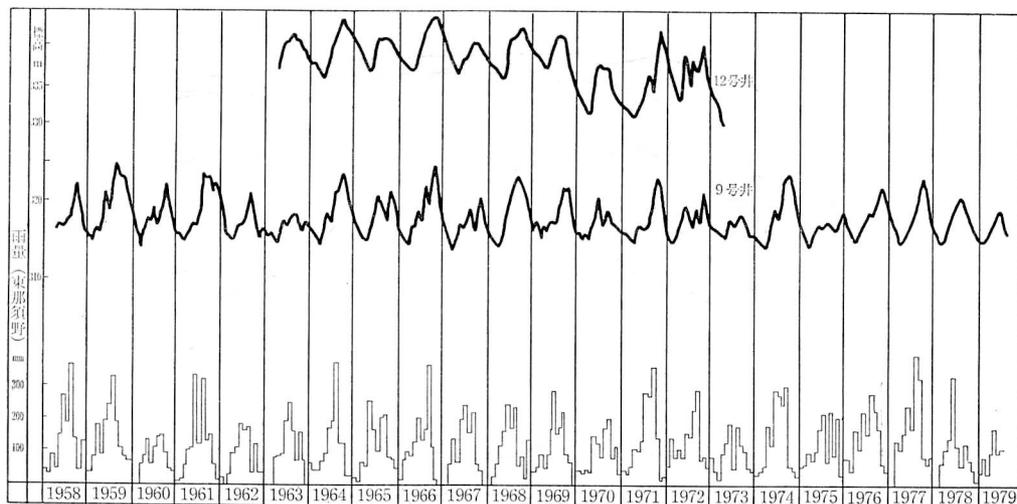


図 2-3-44 那須疏水沿いの不圧地下水水位の変化 (位置は図 2-3-42 に示す)

どおり、那須野原に降り注いだ降雨の浸透涵養の影響を主にうけるパターンを示し、年較差は比較的小さく 3~4 m の間にとどまっている。

K-3, K-4, K-5 および K-6 井の地下水水位は、地表から 10 m 前後のところであり、蛇尾川、熊川および那須疏水によるかんがいの影響をうけて水位昇降の変化が大きい。年間を通じて 7~8 m の変化があるが、春先最低、盛夏最高を基調としている。

K-7, K-8 および K-9 井は扇端湧水帯もしくはその近傍に位置しており、地下水水位は地表から 3 m 以浅にあり、年変化もきわめて少ない。

当時の地下水水位観測中の 1931 年 8 月の降水量は前後の月に比べて著しく少ないが、その影響は約 2 カ月遅れて現われている。

図 2-3-44 は、那須野原の地下水水位観測記録のうち最も組織的かつ長期に及ぶ記録から、地下水水位の季節変動の大きい那須疏水沿いのものを選んでグラフにしたものである。水位の季節的变化は、毎年、春先最低、夏秋最高のパターンをたどっていて、水位変化の振幅は当該年の降水量の大小と密接に関連している。すなわち、1963, 1967, 1970, 1973, 1975 年はそれぞれ小雨年であるが、これらの年の最高水位は例年に比べて 3~4 m 低いところであり、当該年またはその翌年の最低水位が例年より 2~3 m 低くなっている。ただし、疏水に近接した 12 号井 (青木) の 1970 年以降の水位はそれ以前とは異なったパターンを示している。1966 年秋から下り始めた水位は例年よりも 5 m 以上も下り、1970 年 3 月には井底が干上っている。1970 年のかんがい期の水位は例年とほぼ同様のパターンを示しているが、そのピーク水位は例年の基底水位にとどまっている。1971, 72 年はそれぞれ豊水年と平水年であるにもかかわらず、その平均水位は平年を 3~4 m 下回り、春先は定常的に井底が干上り、かんがい期間中の水位昇降が鋸歯状を呈し、降水涵養の比率が高まっていることを示している。

那須野原で最も有能な帯水層是那須扇状地礫層である。扇中央部から扇端部にかけて数多く分布する浅井戸は、主として、かんがい用に利用されている。これらはいずれも那須扇状地礫層に胚胎する不圧地下水を採取している。

表 2-3-11 那須野原の不圧帯水層の水理常数一覧

試験井	係数	揚 水 井			観 測 井			平 均
		ハンタッシュ法	タイス法	回復法	ハンタッシュ法	タイス法	回復法	
金田北部 (1) 後藤清勝井	T	2,369	2,056	3,503	4,264	4,428	2,885	3,251
	S	(2.30)	(33.6)	—	0.0154	0.0177	—	—
	k'/b'	(107.6)	—	—	0.0138	—	—	—
金田北部 (2) 相馬又一井	T	1,511	1,781	3,085	2,110	1,269	4,225	2,230
	S	(1.59)	(164.9)	—	0.0097	0.00519	—	—
	k'/b'	(67.8)	—	—	0.539	—	—	—
金田北部 (3) 白井芳郎井	T	703	1,250	1,537	871	1,620	2,576	1,426
	S	(20.9)	(694)	—	0.0399	(0.50)	—	—
	k'/b'	(250.6)	—	—	0.288	—	—	—
平 均	T	1,528	1,696	2,708	2,415	2,439	3,229	2,336
	S	(8.20)	(297.5)	—	0.0217	(0.174)	—	—
	k'/b'	(142)	—	—	0.280	—	—	—

(注) 1. T: 透水量係数 (m²/day), S: 貯留係数, k'/b': 漏水係数 (day⁻¹).
 2. () 内数字は信頼度が低い。

那須扇状地礫層は、扇中央部から扇頂部にかけて、層厚 40~100m の巨礫ないし細礫からなるが、扇中央部から扇端部にかけて、層厚と粒度を次第に減じ、淘汰、分級の比較的良好な厚さ 5m 程度の砂礫層に変わる。扇端湧水帯では、本層の大部分が飽和されているが、扇中央部、扇頂部へと上がるにつれて、地下水の飽和帯は下層の一部に限られる。本層の飽和帯の水理常数は、それぞれの井戸の揚水試験によって明らかにされている(表 2-3-11)が、ほぼ透水量係数 400~2,500 m²/d、透水係数 20~300 m/d、貯留係数 0.002~0.07 のような値になる。

那須野原における地下水の涵養に関する調査研究にはみるべきものが少ない。崔・大庭(1978)⁽¹⁷⁾は、蛇尾川と箒川に挟まれた地域のかんがい用水と不圧地下水のトリチウム濃度を1973年3月から12カ月にわたって測定し、かんがい用水、地下水ともに4月から7月にトリチウムの濃度が高く、8月から11月に低くなり、また箒川沿いの那須疏水掛りの地域およびその南側の地下水はトリチウム濃度が低い、という結果を得ている。4月から7月は地下水位の上昇期に当たっていて、降雨やかんがい水の大量浸透によって、土壌中にとりこまれていたトリチウム濃度の高い水が不圧地下水に押し出され高濃度となったものであり、高水期から低水期へと移向する時期に、年齢の若い水がより多く涵養されていることを示している。また、箒川沿いや疏水掛りでは年齢の若い水が盛んに浸透していることを示している。

これらは、那須野原の不圧帯水層への降雨およびかんがい用水の垂直涵養が想像以上に大きいことを示唆している。

那須野原の不圧地下水の水温と電気伝導度分布は図 2-3-45 に示すとおりである。1979年夏の測定であるが、地下水温は 14 度から 21 度の間にあり、平均値は 15.7 度であった。また、電気伝導度は 83~145 μS/cm の範囲にあり、平均値は 122 μS/cm で、全般に溶出成分の少ない冷

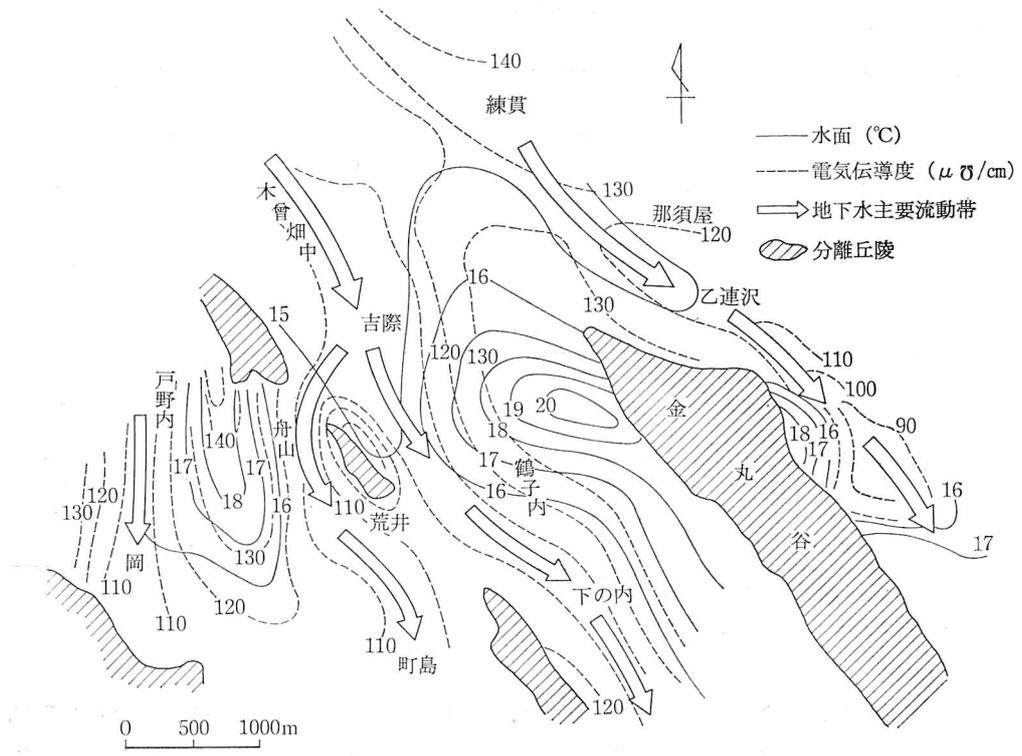


図2-3-45 那須野原金田地区水温・電気伝導度分布図

涼な水ということが出来る。

山側から南々東に細長く伸びる低温、低電導度帯が何条か認められ、主要流動帯(流速の早い部分)の存在を示している。それらは、① 富池→松原、② 稻荷山丘陵の西側の戸野内→岡、③ 練貫→那須屋→金丸台西側の乙連沢南部、④ 三本木→木曾畑中→吉際→鶴子内→下の内、である。

また、主流動帯の本流から分派して、稻荷山丘陵のかつての風溝をすりぬけ、舟山→荒井→町島と連ねて流れる流動帯の存在は注目に値する。

水温、電気伝導度分布が示す主要流動帯は、さきに述べた地下の埋積谷から推定される流動経路をより詳細に示している。

那須扇状地礫層の中でも、この流動帯はとくに帯水能が高く、比湧出量が周辺の数倍以上になっており、浅井戸の設置に当って、流動帯をねらうのが適切であることを示している。

以上の諸事実を考慮して、降水量をパラメーターとして那須野原における不圧地下水の水位シミュレーションを試みた。その成果は図2-3-46に示すとおりである。この図からわかるとおり、日降水量から蒸発散を差し引いたものをインプットし、多段式タンクモデルによって遅れ系と地下水流出量を再現すると、容易に地下水位をシミュレートできることがわかる。これらの過程から、那須野原では、地表流出がきわめて小さく、降雨とかんがい水はほとんどが地下浸透していると推算される。

那須野原における被圧地下水に関する知見は乏しい。これは那須扇状地礫層中に胚胎する不圧

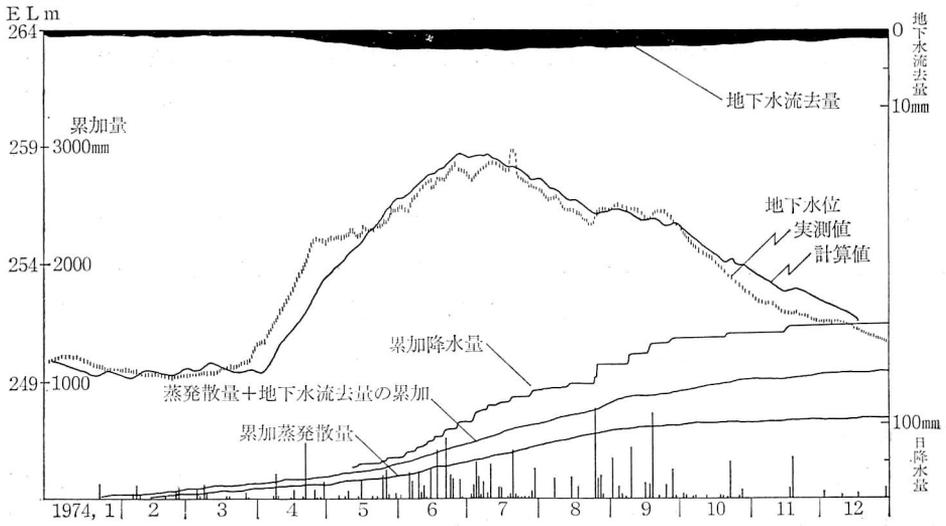


図2-3-46 那須野原(大田原市)の地下水流出シュミレーション

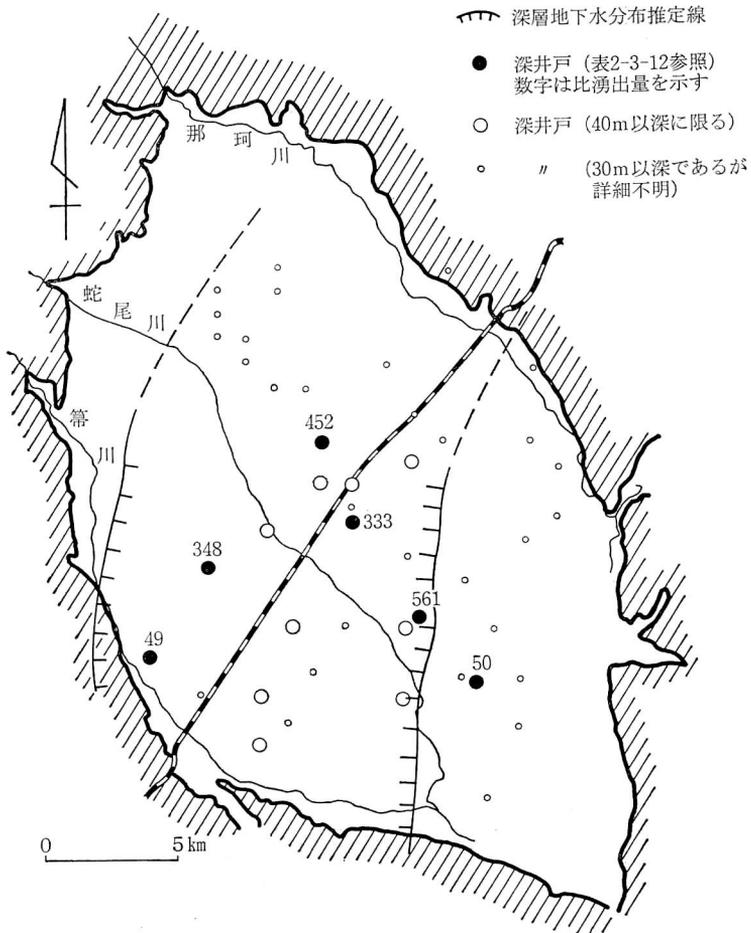


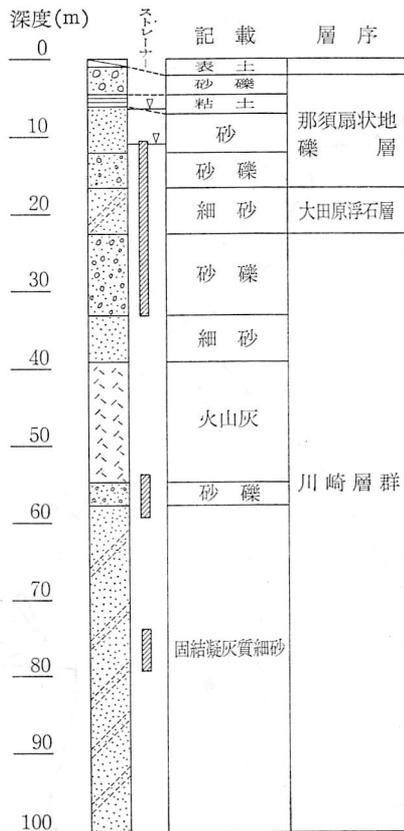
図2-3-47 那須野原の深井戸分布

地下水の賦存量が地域における地下水需要に応じることのできる規模であり、深層の地下水開発の必要性が高くないことに起因している。また、不圧地下水を安易に得ることのできない扇頂部から扇中央部にかけての地域は、深井戸の施工が厚い扇状地砂礫層にはばまれ、深層の地下水開発にブレーキをかけられている。

那須野原における深井戸分布は図 2-3-47 に示し、施設諸元を表 2-3-12 に示す。また、主要な深井戸の柱状図は図 2-3-48 に示すとおりである。館の川凝灰岩より下位の境林礫層を収水層としているが、那須扇状地礫層中にもストレーナーを設けているものが少なくない。表 2-3-12 からわかるとおり、揚水量の割に水位降下が大きく、比湧出量は $50 \sim 500 \text{ m}^3/\text{d}/\text{m}$ とばらついていて必ずしも有能帯水層として評価しにくい。したがって、ここ当分は被圧地下水の大規模開発は期待できないだろう。

(3) 開発と保全

那須野原には、現在 4,000 カ所を超える地下水取水施設があり、年間取水量は年によって異なるが、干ばつ年で 2 億 5 千万 m^3 ⁽²²⁾ に達していて、全国的にも地下水利用の盛んな地域に数えら



栃木県:昭49県営総バ那須地区深層地下水揚水試験報告書(1975)より抜粋

図 2-3-48 深井戸試掘井柱状図(那須郡黒羽町大野室)

表 2-3-12 深井戸調査表(栃木県・水理地質図(1979)より抜粋)

番号	所在地	管理者	標高(m)	井戸径(mm)	深度(m)	自然水位(m)	揚水水位(m)	揚水量(m ³ /d)	比湧出量(m ³ /d/m)	ストレーナー位置	用途
17	田原市中田原	県酪農協	210	250	50	5.4	9.1	2,082	561	2.80~45.0=17.0 m	農
18	" 石上	県開発課	237	250	50	12.5	29.0	804	49	$\left\{ \begin{array}{l} 9.5 \sim 15.5 \\ 20.5 \sim 26.0 \\ 31.5 \sim 37.0 \\ 42.5 \sim 48.0 \end{array} \right\} = 22.0$	工
19	" 奥沢	大田原市	210	150	52	6.0	14.0	400	50	24.0~51.5=11.0	上
21	黒磯市	県酪農協	216	250	41	13.8	14.3	1,224	2,448	$\left\{ \begin{array}{l} 13.5 \sim 19.0 \\ 24.5 \sim 41.0 \end{array} \right\} = 22.0$	農
22	" 上中野	プリジストン・タイヤ (1号井)	272	350	80	6.5	35.4	2,700	93	17.5~49.5=41.0	工
23	" "	プリジストン・タイヤ (2号井)	270	350	80	41.9	48.1	2,800	452	$\left\{ \begin{array}{l} 19.5 \sim 52.5 \\ 63.5 \sim 74.5 \end{array} \right\} = 44.0$	"
24	" 下中野	プリジストンペリルト スチールコーティング	277	350	59	35.3	43.7	2,800	333	不明	"
25	西那須野町烏ヶ森	県企画課	266	250	90	12.6	14.5	652	348	$\left\{ \begin{array}{l} 12.5 \sim 29.0 \\ 51.0 \sim 56.5 \end{array} \right\} = 22.0$	試験
*	黒羽町大野室	県那須土地改良	208	300	100	6.4	10.8	1,197	345	$\left\{ \begin{array}{l} 11.0 \sim 33.0 \\ 53.5 \sim 54.0 \\ 73.5 \sim 74.0 \end{array} \right\} = 33.0$	農
平 均			240	278	67	15.6	24.3	1,629	520	l = 26.5	

* 別途資料により追加

れている。この取水量は、那須野原 400 km² に年間に降り注ぐ降水量から蒸発散量を差し引いた量の 8 割に相当している。那須火山や下野山地など背後流域から那須野原に流入する水を考慮しても、全体の約 5 割が地下水として利用されていることになり、地下水利用率の高い地域であるといえる。これは、これまで述べてきたとおり、那須野原が大規模な扇状地を形成し、雨水は地下浸透しやすく、流水のある那珂川や箒川と扇状地の比高が数十 m にも達して、大規模な導水技術が導入されるまで、地下水以外に採水可能な水源がなかったことに起因している。

那須野原における地下水の開発は、開田、開畑の歴史と密接に関連している。日光から仙台、山形方面へ通じるかつての陸羽街道は、那須野原では、扇端湧泉帯の上限部である大田原と鍋掛を結ぶ線を通っており、街道沿いと其の南東側は水の便に恵まれ、明治以前から開墾が進められていた。しかし、那須野原の大部分の地域は水の便に恵まれず、地下水を得ようとしても 15 m 以上の深さの井戸を必要とし、明治以前は狩場や草刈入会地として利用される程度でいわば未開地であった。

大蛇尾川と小蛇尾川の合流点で取水し、大田原に導水する^{ひきま}養沼用水は、藩の御用堀として、充実した維持管理のもとで生命ながらえた用水であるが、それでも 0.7 m³/s の取水量のほとんどが養沼から 4 km 流下する間に地中に潜入し、10 km 下流の片府田で湧出するが、その量は僅少であり、湧泉帯である今泉に至ってからでないと田に引けるような水量にならなかったという。

明治初年の那須野原における大農場の創設は、那須疎水開削の引金となった。那須疎水の前身の飲雑用水路は 1882 年 (明治 15 年) に完成をみたが、牛馬の飼育にも不足する状態であったという。那須疎水 (導水幹線 15 km, 導水量 5.6 m/s) は、1885 年 4 月、政府直轄事業として竣功し、水路沿いの開田を可能にした。開田は開拓農民にとって悲願であったが、水路の漏水、開墾地の風食、燐酸の欠乏した土壌など克服に手間どり、表 2-3-13 に示すとおり、きわめてゆっくりとしたテンポでしか進まなかった。

しかし、水路からの用水の垂直浸透が疎水周辺の不圧地下水を涵養し、疎水以南の地下水面を

表 2-3-13 那須疎水による水田面積の推移

(個: 立方尺/秒)

分水別	戦 前			戦 後		水量 1 個当りかんがい面積		
	大 2	大 14	昭 11	昭 27	昭 33	用水量	昭 11	昭 33
	ha	ha	ha	ha	ha	個	ha	ha
第 1 分水	5.9	15.9	17.0	29.8	139.8	41.70	0.41	3.35
第 2 (品川を除く)	2.1	11.1	24.1	28.9	116.9	46.90	0.51	2.50
第 3	54.5	63.5	65.9	63.7	153.6	30.91	2.13	4.97
第 4	108.4	180.0	260.0	253.4	417.5	75.39	3.45	5.54
小 計	170.9	270.5	367.0	375.8	827.8	194.90	1.89	4.25
品川地区	54.0	108.7	112.7	66.6	81.9	4.99		
総 計	224.9	379.2	479.7	442.4	909.7	199.89		

(注) 品川地区を別枠にしたのは同地区が湧水地域に属するうえ、蛇尾川からの用水を併用しているからである。

関東々山農業試験場農業経営部「那須疎水に於ける開田と水利慣行」より

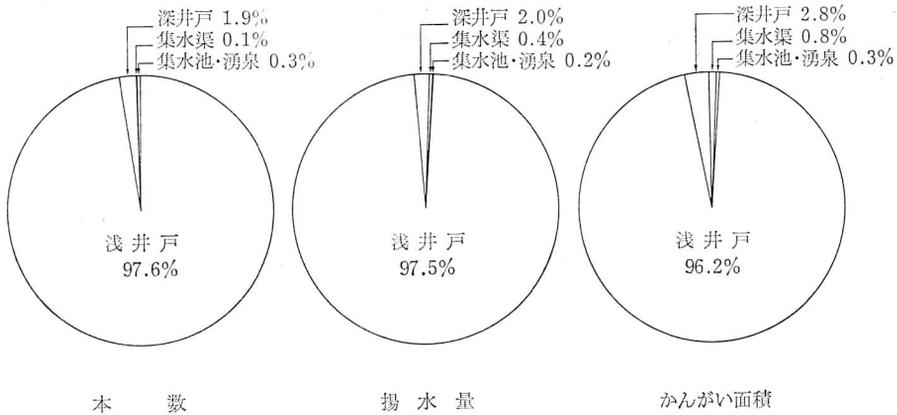


図2-3-49 那須野原における地下水取水施設別比率

高め、扇端湧水帯の範囲が広がったわけである。湧水帯の拡大に伴う1886年以降の那須野原南部地域の開田は、1935年までの約50年間に1,590 haに及んでいる⁽¹³⁾。これは、那須疏水の直接掛りの開田が同期間に400 haにも達していないのに比べて、驚異的な数字であり、農業水利事業の進め方について、地下水理および水文地質の知識がいかに重要であるかを教えている。

第二次大戦後の未墾地の土壌改良と作井、揚水技術のめざましい進歩は、那須野原の開田を革命的に増加させた。扇端湧水帯の直上流に始まった地下水の揚水による開田は、ポンプ技術の進展に伴って、逐次上流へと進んだ。稲作技術の変化とくに田植の早期化に伴って、現今では、旧田の代かき水源にも地下水が利用され、日本でも有数な地下水利用地帯になっている。

那須野原に分布する地下水取水施設の内訳は図2-3-49に示すとおりである。取水施設の大部分が浅井戸であり、年間揚水量、かんがい面積の点でも圧倒的なシェアを占めている。深井戸は上水道と工業用水に供しており、農業用では施設園芸用のものが若干数えられる程度である。

すでに述べてきたとおり、那須野原の地下水は降雨のほかにかんがい水路や水田から涵養されており、後者の比率が高いのが特徴である。那須疏水をはじめ多くの用水路が改修舗装され、水田の圃場整備の進展などに伴って涵養量が減少してきており、地下水位の経年低下傾向が一部で顕在化している。このような状況を反映して取水施設の総合整備や地下ダムなどによる地下水開発などが検討されている。

那須野原における地下ダム築造の検討は、可知(1940)⁽¹³⁾の研究に始まる。この地域は、分離丘陵によって、不圧地下水が小地下水区に分断されていること、下流部で不透水性地盤が浅く、地下連続壁が比較的容易につくれること、上流側の貯留域になる部分の有効間隙率が大きいこと、貯留域およびその上流域の表層地質の涵養能が大きいことなど、地下ダム築造にとって技術的可能性は高い。

しかし、那須野原は、那須疏水をはじめ地表水開発の努力が長らく続けられてきていて、それなりに用水が充足されてきているため、新たな投資に対する経済性などが今後の課題となろう。ただ、深層の地下水開発に今後大きな期待が寄せられないこと、不圧地下水の開発はすでに限界に達していること、地域の水文循環環境が変化してきて涵養機能が低下してきていること、営農

をめぐる環境の変化などに関連して水需要が増えると想定されることなどを考え合わせると、地下ダムについて真剣に検討すべき時期にきていると考えられる。

繰り返し述べてきたとおり、那須野原の不圧地下水はこの地域の産業に大きく寄与している。また、ここの地下水は降雨のほかにかんがい用水からの涵養の比率がきわめて高く、不圧地下水の水量と水質を保証しているのは、疏水や水田をはじめとする那須野原の土地利用にあるということができる。地下水を保全するためには、井戸の過剰な設置を制限するとともに、汚染拡大防止のための構造や施設の基準化、土地利用の極端な変化を来たさないよう土地利用の調整または誘導を図る必要がある。（榎倉克幹）

参 考 文 献

- (1) 新野 弘 (1933): 下野山地東北縁の地質, 地質雑 40, pp.517~532, 578~585
- (2) 佐々木実, 鯉坂富夫, 岡本 昭 (1958): 那須野原の地質と地下水, 地学雑 67, pp.1~15
- (3) 渡辺景隆・提橋 昇 (1957): 那須野原中部における基盤地形 (那須野原の水理地質学的研究 1) 予報, 地学研究 10, pp.17~24
- (4) 渡辺景隆・提橋 昇・新藤静夫 (1960): 那須野原の地質構造, 特に那珂川道の変遷について (那須野原の水理地質 2), 地質雑 60, pp.113~122
- (5) 渡辺景隆・提橋 昇 (1960): 那須野原の地史 (那須野原の水理地質 3), 地質雑 66, pp.147~156
- (6) 渡辺景隆・提橋 昇 (1962): 那須野原の“関東ローム” (那須野原の水理地質 4), 地質雑, 68, pp.451~460
- (7) 提橋 昇・渡辺景隆・菅野三郎: 那須野原における地下水の賦存状況について (那須野原の水理地質 5), 地質雑, 66, pp.444~445
- (8) 式 正英・斎藤 祥・羽田野誠一 (1958): 土地分類基本調査“白河”地形分類図及び説明書
- (9) 小池一之 (1961): 那珂川流域の地形発達, 地理評 34, pp.498~513
- (10) 阿久津純 (1962): 那須野原の第四系について, 宇都宮大学研究論集 12, pp.75~92
- (11) 下野地学会編 (1979): 栃木の地質をめぐって, 201 p, 日曜の地学 9, 築地書館 (東京)
- (12) 猪郷久義・菅野三郎・新藤静夫・渡辺景隆 (1980): 日本地方地質誌 関東地方 改訂版, 493 p, 朝倉書店
- (13) 可知貫一 (1940): 地下水強化と農業水利, 224 p, 地人書館
- (14) 塚田公彦 (1970): 那須野原における地下水変動とその諸因子との関係, 鹿児島地理学会紀要 18, pp.1~55
- (15) 鈴木陽雄・阿久津純 (1955): 栃木県中央部の川崎累層の堆積状態, 宇都宮大研究論集 5, pp.88~97
- (16) 鈴木陽雄 (1972): 塩原盆地の地下地質と温泉, 岩井淳一教授論文集
- (17) 崔 茂雄・大庭孝夫 (1978) トリチウムをトレーサーとした那須扇状地の地下水流動, 日本の水収支 pp.156~165, 古今書院
- (18) BEKCHOURINE A. SLINE (1960): 福田仁志訳 (1963): 灌漑地の水収支, 113 p, 東大出版会
- (19) 関東農政局計画部 (1966): 那須野原地区総合土地改良事業計画参考資料 5 (地質地下水編). 661 p
- (20) 関東農政局那須野原開拓建設事業所 (1973): 那須野原地区地下水解析業務報告書 130 p
- (21) 関東農政局計画部 (1979): 金田北部地区揚水試験 その他調査検討業務報告書 107 p
- (22) 関東農政局計画部 (1978): 農業用地下水利用の現状 (利用実態報告書) 315 p
- (23) 関東農政局利根川水系農業水利調査事務所 (1984): 那須南部地区調査成績書 319 p
- (24) 山本荘毅 (1983): 新編地下水調査法, 449 p, 古今書院
- (25) 国土庁国土調査課 (1983): 全国深井戸調査及び全国深井戸分布図 (栃木県) 53 p