

足柄平野の地下水収支解析結果(1999～2001年度)

宮下雄次*

Findings in calculation of groundwater balance in the Ashigara plain from 1999 to 2001

by

Yuji MIYASHITA*

1. はじめに

足柄平野は、富士山東麓や丹沢山地西部、箱根火山北東部を源流部に持つ、流域面積約582km²、幹線流路延長46kmの酒匂川流域の下流部に位置し、奥行き約15km、幅約4.5kmのほぼ長方形の形をした扇状地性の平野である。

足柄平野では、透水性の高い帯水層と、平野上流部や箱根火山、水田や灌漑用水路、酒匂川などからの涵養により、豊富な地下水資源に恵まれており、古くから地下水利用が行われてきている。

神奈川県によって1961年から五カ年計画で行われた総合的な水文調査は、雨量、河川流量、水質、農業用水などの基礎水文資料の観測・収集と、足柄平野の地下水位分布や自噴井の分布等について、井上(1993)の中で報告されている調査結果を引用して、とりまとめられている。

同調査の流れを受け、企業庁によって1968年に開始された地下水位の観測は、現在では温泉地学研究所や南足柄市、小田原市にそれぞれ引き継がれ、足柄平野の地下水の状態や変化を知る上で、重要なデータとなっている。

また、足柄平野の地下水を対象とした調査・研究は、先に挙げた井上による自噴井調査(井上、1993)のほか、横山(1986)や温泉地学研究所(1988)など、地下水の水質、流動、涵養機構、地下水位変化、自噴井の分布やその経年変化、自噴量や水質の特徴など、数多く行われてきている。なお、これまでに足柄平野を対象として行われてきた水文観測については、宮下(1999)によってその概略がとりまとめられている。

しかし、足柄平野の地下水収支については、公表されている調査結果が少ないことや、地下水収支そのものが、年々の水文気象の変化や、地下水利用量の変化、土地利用状況の変化などにより、年ごとに変動していると考えられることなどから、継続的な水文観測と、複数年にわたる地下水収支の解析が必要であると考えられた。

神奈川県及び足柄上地区の1市5町は、長期的かつ安定的な水資源の確保を図るため、1997(平成9)年11月に「足柄上地区地下水調査研究会」(以下、「研究会」という。)を設置し、足柄平野及び大磯丘陵の地下水資源の調査を実施している。同研究会では、下部組織として県市町の担当職員から構成されるワーキンググループのメンバーにより、1999(平成11)年度から2002(平成14)年度までの4年間にわたって、足柄平野及び大磯丘陵の地下水資源の調査を把握するための自主調査が行われた(宮下ほか、2003)。

そこで本報告では、研究会による自主調査の結果を基に、他の機関における観測結果と併せて、足柄平野における水収支項目について検討を行い、足柄平野の地下水収支の算出を行った。

2. 地下水収支項目解析結果

地下水収支の解析は、1999(平成11)年度～2001(平成13)年度までの各年度単位で行った。

また、水収支項目の算定にあたっては、足柄平野の境界部を不透水性基盤との境界とした土地利用検討調査に準じ、「地下地質資料集 - 県西部地域 - (温泉地学研究所、1991)」における足柄平野地質図をもとに範囲を決定し、足柄平野の面積を67.38km²として、流域降水量及び蒸発散量を算出した。図1に足柄平野地質図及び水収支算定範囲を太実線で示した。

地下水収支は、以下6項目についてそれぞれ年度単位で算出し、解析を行った。

- (1) 流域降水量
- (2) 蒸発散量
- (3) 河川流入出量
- (4) 地下水揚水量
- (5) 自噴量
- (6) 地下水貯留量変化

* 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田586
報告, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第35巻, 53 - 62, 2003.

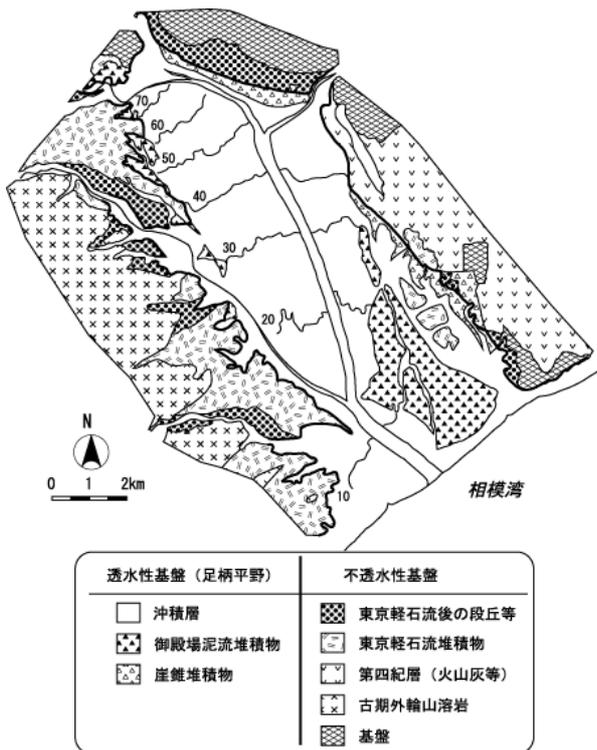


図1 足柄平野および周辺の地質及び対象範囲

2.1.1. 流域降水量

一般的に、降水量は標高や卓越風向などの地形的な要因によって地域的に大きく異なる。神奈川県西部地域においては、箱根火山及び丹沢山地で多く、平野部で少なくなっている。本解析では、気象庁による小田原地域気象観測所(小田原市城山)並びに温泉地学研究所の雨量観測地点中のうち、大井町金子、小田原市千代及び南足柄市内山の計4地点の降水量データを用いた。

1999(平成11)年度から2001(平成13)年度までの各地点及び平均月降水量を表1に示した。気象庁観測による

小田原の降水量は、1971(昭和46)年度から2000(平成12)年度までの30年平年値が1,946mmであり、1999(平成11)年度から2001(平成13)年度における降水量と比較した場合、1999(平成11)年度はほぼ平年並み、2000(平成12)年度は平年の110%と多く、反対に2001(平成13)年度は平年の83%と少なかった。また、降水量は観測地点ごとのばらつきも大きく、年度を通して観測データの得られた2000(平成12)と2001(平成13)年度では、最多降水量と最少降水量の比率は、1.69及び1.67であった。

ある地域への降水量を、複数地点における観測結果から算出する方法として、ティーセンポリゴンや標高等を用いた面積重み付けによる加重平均値が用いられる場合がある。しかし本調査では、平野の上流及び下流、西側及び東側と、観測地点が概ね均等に分布していることから、各観測データの重み付けを行わない、算術平均によって平均降水量を算出した。なお、1999(平成11)年度については、温泉地学研究所観測データの一部に欠落が見られたことから、小田原地域気象観測所による降水量を用いた。

水収支算定の対象とした平野面積の67.38km²と、各年度を代表する降水量との積から、足柄平野への各年度の降水量は、11,003~13,004万m³/年と算出された。

2.2. 蒸発散量

蒸発散量を推定する方法として、月平均気温のみを用いるソーンスウェイト法による可能蒸発散量の推定式を用いた。この方法は丈の低い緑草で密に覆われた地表面から、水不足の起こらないように給水した場合に失われる蒸発散量を可能蒸発散量と定義し、それを月平均気温の関数として次式で表わしたものである。

表1 小田原地域気象観測所及び温地研観測地点における降水量と平均降水量(mm)

| 1999(平成11)年度 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 | 年合計(mm/年) | 平野合計(万m ³ /年) |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-----------|--------------------------|
| 小田原地域気象観測所 | 264 | 216 | 238 | 240 | 317 | 183 | 107 | 100 | 4 | 120 | 8 | 133 | 1930 | |
| 温地研(小田原) | | | 83.0 | 195.0 | 172.5 | 120.5 | 81.5 | 67.0 | 0.5 | 78.0 | 3.5 | 89.5 | (981.0) | |
| 温地研(大井) | | | 136.0 | 253.0 | 246.5 | 94.0 | 86.0 | 68.0 | 0.5 | 39.5 | 4.0 | 113.0 | (1111.5) | |
| 温地研(南足柄) | | | 205.0 | 277.0 | 326.5 | 140.5 | 111.0 | 141.0 | 2.0 | 105.0 | 8.0 | 104.5 | (1436.5) | |
| 小田原地域気象観測所(代表地点) | | | | | | | | | | | | | 1930 | 13,004 |
| 2000(平成12)年度 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 合計(mm/年) | 平野合計(万m ³ /年) |
| 小田原地域気象観測所 | 226 | 43 | 303 | 170 | 83 | 453 | 297 | 267 | 16 | 159 | 61 | 143 | 2141 | |
| 温地研(小田原) | 135.0 | 17.0 | 16.5 | 37.5 | 80.0 | 308.0 | 180.5 | 253.5 | 10.0 | 115.0 | 39.5 | 95.5 | 1268.0 | |
| 温地研(大井) | 181.5 | 34.5 | 234.0 | 123.0 | 42.5 | 449.5 | 173.0 | 230.0 | 10.5 | 125.0 | 41.5 | 97.5 | 1757.0 | |
| 温地研(南足柄) | 164.5 | 43.5 | 276.5 | 177.0 | 57.5 | 276.5 | 130.0 | 302.5 | 13.0 | 163.5 | 57.0 | 141.5 | 1853.0 | |
| 算術平均 | | | | | | | | | | | | | 1755 | 11,825 |
| 2001(平成13)年度 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 合計(mm/年) | 平野合計(万m ³ /年) |
| 小田原地域気象観測所 | 70 | 243 | 152 | 9 | 286 | 195 | 237 | 110 | 46 | 137 | 37 | 149 | 1621 | |
| 温地研(小田原) | 26.5 | 156.5 | 7.5 | 11.5 | 167.0 | 219.0 | 236.5 | 81.5 | 26.0 | 37.5 | 20.5 | 149.0 | 1253.0 | |
| 温地研(大井) | 43.0 | 226.5 | 24.0 | 22.0 | 89.5 | 309.5 | 332.0 | 109.0 | 33.5 | 134.0 | 28.5 | 136.5 | 1569.0 | |
| 温地研(南足柄) | 88.0 | 229.0 | 249.0 | 37.5 | 288.0 | 407.0 | 407.5 | 136.5 | 52.0 | 176.0 | 32.5 | 120.0 | 2089.0 | |
| 算術平均 | | | | | | | | | | | | | 1633 | 11,003 |

$$Et = 1.6 \left(\frac{10T}{I} \right)^a$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1.514}$$

$$a = (492,390 + 17,920I - 77.1I^2 + 0.675I^3) \times 10^{-6}$$

ここで、Et は可能蒸発散量(cm/ month)、T は月平均気温()である。

本解析では気象庁小田原地域気象観測所の月平均気温を用いて可能蒸発散量を算出し、それに日本における経験的乗数0.7を乗じて蒸発散量とした。

算出に用いた小田原地域気象観測所における月平均気温及び上記の方法によって推定された蒸発散量を表2に示した。

小田原における各年度の年平均気温は、15.5 ~ 15.7と降水量に比べて年度間の変化は少なく、その結果推定された蒸発散量も583 ~ 589mm/年とほぼ同一となり、足柄平野全体の蒸発散量は3,930 ~ 3,971万m³/年と算出された。

表2 小田原アメダス観測による月平均気温、及びゾンスウェイト法による蒸発散量

| 1999(平成11)年度 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 | 合計(mm/年) | 平野合計(万m ³ /年) |
|--------------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-----|-----|------|----------|--------------------------|
| 平均気温(°C) | 13.7 | 13.4 | 21.3 | 24.8 | 25.1 | 24.7 | 18.1 | 12.9 | 7.9 | 6.8 | 5.0 | 8.3 | 15.7 | |
| 蒸発散量(mm/月) | 34.8 | 62.6 | 79.7 | 104.0 | 109.7 | 86.5 | 43.9 | 24.3 | 11.0 | 8.8 | 5.2 | 14.4 | 589 | 3,971 |
| 2000(平成12)年度 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 | 合計(mm/年) | 平野合計(万m ³ /年) |
| 月平均気温(°C) | 13.7 | 13.9 | 21.0 | 23.8 | 26.3 | 23.2 | 17.0 | 12.5 | 7.4 | 4.3 | 5.6 | 9.1 | 15.5 | |
| 蒸発散量(mm/月) | 34.8 | 65.5 | 77.8 | 111.0 | 109.4 | 78.0 | 46.7 | 23.0 | 9.9 | 4.1 | 6.2 | 15.8 | 583 | 3,930 |
| 2001(平成13)年度 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 | 合計(mm/年) | 平野合計(万m ³ /年) |
| 月平均気温(°C) | 14.4 | 13.0 | 21.8 | 23.8 | 25.2 | 21.9 | 17.4 | 11.5 | 7.1 | 6.5 | 6.7 | 11.1 | 15.7 | |
| 蒸発散量(mm/月) | 37.7 | 60.4 | 82.8 | 115.1 | 100.7 | 71.0 | 45.8 | 20.6 | 9.2 | 8.2 | 8.1 | 23.2 | 586 | 3,949 |

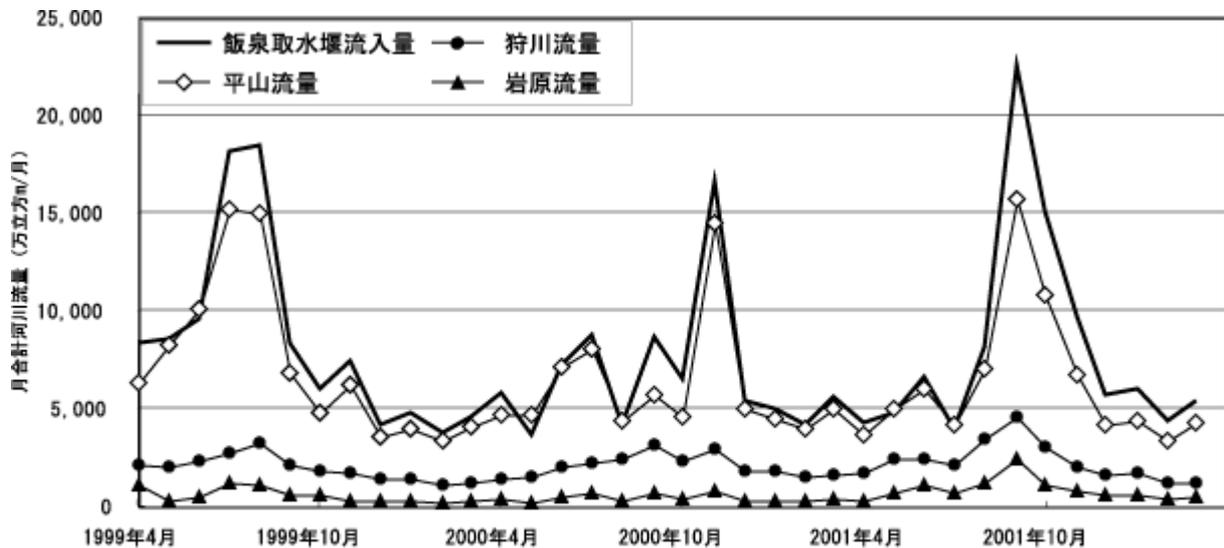


図2 足柄平野4地点における月合計河川流量の変化

2.3. 河川水等流入出力

足柄平野における酒匂川水系の河川流量は、神奈川県企業庁利水局三保事務所及び神奈川県内広域水道企業団飯泉管理事務所においてそれぞれ観測されている。

本解析では、県企業庁利水局三保事務所から、平成11年から13年度までの足柄平野内12地点(平山、内山、班目、松田、川音、文命用水、下河原、栢山用水、岩原、穴部用水、狩川、飯泉流入量)における日流量データの提供を受け、各年度ごとに平野に対する河川水流入出力及び灌漑用水の流入出力として集計を行った。

足柄平野における河川流量の代表的な地点として、足柄平野上流部に位置する平山地点、足柄平野最下流部に位置する飯泉取水堰流入量、狩川上流部の岩原地点及び下流の狩川地点の4地点における月合計河川流量変化を図2に示した。

期間中の酒匂川本流の河川流量は、平山と飯泉取水堰流入量では、流量の大きくなる夏季~秋季において2地点間の河川流量の差が大きくなる一方、月合計流量が5千万m³前後の時期で、ほぼ同程度の流量であった。

一方、狩川における上流の岩原地点から下流の狩川地点までの流量差は、概ね 700 ~ 2,500 万 m³/月の間を変動し、灌漑の行われている 5 月から 8 月頃にかけて、両地点の流量差が最大を示す傾向が見られた。

図 3 に示した流量観測点の水系模式図から、足柄平野外からの河川水流入量については、平山 + 川音 + 岩原ですべて表され、その他の小河川による流入量は、流量が小さく無視できるものと仮定した。同様に、平野外からの灌漑水流入量は該当がなく、また、平野外への河川水流出量は飯泉流入量で、平野外への灌漑水流出量は下河原 + 穴部で表されるものとそれぞれ仮定し、各年度ごとの流量として河川水流入量の算定を行った。各月の流量を表 3 に示した。

この結果、平野外からの河川水の流入量は 80,571 ~ 97,834 万 m³/年、河川水及び灌漑水を合わせた平野外への表流水の流出量は 91,187 ~ 110,335 万 m³/年と算出され、流出量が流入量を上回った。

この流量増がすべて地下水からの流入によるものとする、地下水から表流水への湧出量は、表流水の流入流出量の差として表され、3 年間の平均で年間 7,768 万 m³と見積もられた。

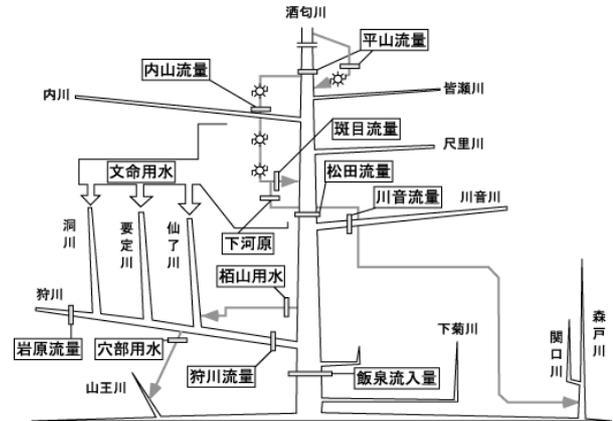


図 3 流量観測点の水系模式図

表 3 河川流量一覧 単位：万 m³/月(各月)及び万 m³/年(各年度))

| 年月 | 平山 | 内山 | 岩原 | 山王 | 文命用水 | 下河原 | 栢山 | 皆瀬 | 穴部用水 | 狩川 | 飯泉流入量 | |
|---------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|---------|
| 1999 4 | 8,368 | 4,679 | 4,622 | 7,876 | 281 | 1,555 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8,982 | |
| 1999 5 | 8,264 | 6,152 | 2,951 | 6,148 | 184 | 1,957 | 1,344 | 325 | 260 | 2,695 | 9,544 | |
| 1999 6 | 10,657 | 4,912 | 1,990 | 7,467 | 118 | 1,687 | 1,902 | 972 | 422 | 336 | 2,381 | 9,596 |
| 1999 7 | 15,727 | 4,200 | 3,985 | 14,527 | 361 | 1,792 | 1,114 | 273 | 1,285 | 255 | 2,755 | 18,139 |
| 1999 8 | 17,034 | 4,826 | 1,998 | 14,109 | 701 | 1,316 | 1,517 | 275 | 1,109 | 273 | 3,228 | 18,324 |
| 1999 9 | 6,311 | 4,826 | 2,600 | 5,996 | 526 | 1,406 | 909 | 135 | 566 | 169 | 2,168 | 8,330 |
| 1999 10 | 3,767 | 3,256 | 2,711 | 6,166 | 226 | 1,454 | 36 | 1 | 611 | 0 | 1,866 | 6,018 |
| 1999 11 | 6,172 | 4,461 | 2,931 | 5,454 | 291 | 1,626 | 0 | 0 | 288 | 0 | 1,754 | 7,134 |
| 1999 12 | 3,428 | 3,164 | 2,302 | 3,987 | 66 | 1,147 | 165 | 0 | 357 | 0 | 1,139 | 5,153 |
| 2000 1 | 3,969 | 3,761 | 2,250 | 4,662 | 100 | 1,325 | 132 | 57 | 317 | 0 | 1,438 | 6,764 |
| 2000 2 | 3,381 | 3,359 | 2,185 | 2,730 | 32 | 1,156 | 124 | 16 | 268 | 0 | 1,081 | 5,773 |
| 2000 3 | 2,100 | 3,029 | 2,365 | 2,954 | 79 | 1,429 | 36 | 13 | 309 | 147 | 1,266 | 5,614 |
| 平外3年合計 | 87,792 | 52,833 | 23,261 | 83,828 | 3,225 | 18,080 | 6,884 | 1,341 | 6,900 | 1,421 | 23,618 | 130,341 |
| 2000 4 | 2,721 | 2,135 | 2,509 | 2,182 | 292 | 1,528 | 199 | 17 | 386 | 39 | 1,462 | 5,773 |
| 2000 5 | 2,706 | 2,501 | 2,225 | 2,352 | 56 | 1,930 | 1,536 | 262 | 231 | 259 | 1,190 | 5,304 |
| 2000 6 | 7,134 | 2,578 | 1,813 | 4,325 | 152 | 1,621 | 2,336 | 313 | 333 | 181 | 2,987 | 7,271 |
| 2000 7 | 9,364 | 2,711 | 3,366 | 5,121 | 269 | 1,465 | 1,236 | 273 | 725 | 412 | 2,208 | 9,317 |
| 2000 8 | 4,267 | 4,191 | 1,139 | 4,977 | 3 | 1,922 | 1,520 | 293 | 362 | 153 | 2,272 | 4,128 |
| 2000 9 | 5,674 | 4,293 | 3,380 | 4,876 | 343 | 1,417 | 621 | 112 | 575 | 37 | 3,186 | 8,333 |
| 2000 10 | 2,987 | 3,992 | 2,694 | 4,214 | 150 | 1,550 | 157 | 77 | 447 | 113 | 2,850 | 6,558 |
| 2000 11 | 15,481 | 3,301 | 1,949 | 16,731 | 422 | 1,922 | 40 | 20 | 812 | 33 | 3,046 | 18,584 |
| 2000 12 | 2,331 | 2,968 | 2,589 | 1,833 | 434 | 1,275 | 17 | 63 | 40 | 7 | 1,953 | 5,444 |
| 2001 1 | 2,271 | 2,189 | 2,381 | 7,130 | 159 | 1,328 | 281 | 2 | 284 | 69 | 1,882 | 4,978 |
| 2001 2 | 2,493 | 2,328 | 2,511 | 4,151 | 221 | 1,213 | 112 | 2 | 213 | 0 | 1,425 | 4,271 |
| 2001 3 | 2,973 | 2,635 | 2,351 | 1,032 | 249 | 1,171 | 30 | 2 | 282 | 116 | 1,848 | 5,541 |
| 平外3年合計 | 72,172 | 53,530 | 26,117 | 63,887 | 2,936 | 17,275 | 7,500 | 1,120 | 3,191 | 2,472 | 23,149 | 131,797 |
| 2001 4 | 3,553 | 3,733 | 2,153 | 2,430 | 95 | 1,220 | 215 | 27 | 213 | 1 | 1,702 | 4,668 |
| 2001 5 | 5,325 | 4,435 | 1,795 | 2,999 | 173 | 2,962 | 1,325 | 317 | 731 | 155 | 2,137 | 4,709 |
| 2001 6 | 6,305 | 3,322 | 1,843 | 2,737 | 229 | 1,551 | 1,221 | 369 | 1,101 | 294 | 2,128 | 6,941 |
| 2001 7 | 4,179 | 4,395 | 1,459 | 2,452 | 27 | 1,471 | 1,025 | 202 | 725 | 277 | 2,133 | 5,949 |
| 2001 8 | 5,793 | 4,535 | 1,925 | 4,877 | 261 | 1,752 | 1,303 | 320 | 329 | 104 | 2,423 | 6,173 |
| 2001 9 | 15,671 | 4,534 | 2,001 | 16,318 | 545 | 1,821 | 512 | 151 | 2,139 | 165 | 3,339 | 20,509 |
| 2001 10 | 12,808 | 5,173 | 2,427 | 8,976 | 709 | 1,593 | 125 | 82 | 1,153 | 6 | 2,017 | 15,100 |
| 2001 11 | 6,734 | 1,730 | 2,427 | 4,313 | 417 | 1,457 | 126 | 22 | 294 | 1 | 2,053 | 8,114 |
| 2001 12 | 4,153 | 4,151 | 2,725 | 2,322 | 196 | 1,613 | 126 | 42 | 274 | 0 | 1,613 | 6,711 |
| 2002 1 | 3,843 | 4,115 | 2,487 | 2,700 | 269 | 1,493 | 120 | 38 | 379 | 10 | 1,972 | 6,022 |
| 2002 2 | 2,465 | 2,333 | 2,218 | 1,957 | 112 | 1,271 | 92 | 46 | 14 | 182 | 1,222 | 4,180 |
| 2002 3 | 3,223 | 2,830 | 2,737 | 2,659 | 163 | 1,139 | 12 | 41 | 51 | 149 | 1,244 | 6,042 |
| 平外3年合計 | 72,336 | 61,342 | 28,682 | 64,655 | 3,557 | 18,417 | 8,743 | 1,092 | 10,373 | 1,563 | 27,748 | 140,797 |

2.4. 地下水揚水量

足柄平野における地下水揚水量は、一般事業所用と水道事業者用に分けることができる。

このうち事業所用に揚水された地下水の用途や排水処理方法は様々であるが、ここでは全量が平野内の河川に排水されるものと仮定した。

一方、水道事業者による揚水は、上水道として各家庭及び事業所等に配水された後、下水処理場によって浄化され、対象地域外に排水されているものと仮定した。

足柄平野における地下水揚水量として、宮下ほか(2003)に示された地下水利用状況調査地点の内、足柄平野外から揚水していると考えられる以下の地点について除外し、事業所揚水量及び水道用揚水量について年度単位で再集計を行った。

足柄平野外として除外した地点：

大磯丘陵における調査地点： 10 地点

(大1、小23、中1～中3、中4-1～中4-5)

足柄山地における調査地点： 6 地点

(松1、山3～山5、山7-1～山7-2)

なお、箱根火山側のいくつかの事業所は、足柄平野の範囲外にプロットされているが、小河川沿いに分布していることなど、地形・地質的に厳密に区分することは難しいものと考えられることから、ここでは、箱根火山側に位置する事業所は、足柄平野内に含めて揚水量を算定した。

上記の区分に基づいて集計した各年度ごとの地下水揚水量を表4に示した。また、参考として、大磯丘陵及び足柄山地における揚水量についても、表4に併記した。ここで、大磯丘陵における2001(平成13)年度の一般事業所の地下水揚水量は、欠測データが多いことから、括弧で示した。

この結果、足柄平野における地下水の揚水量は、年間約5,500万m³であり、そのうちの約8割が一般事業所による揚水であった。また年度ごとの一般事業所揚水量と水道事業者揚水量の比率はほぼ同じであった。

表4 地形区分、事業所区分別、1999(平成11)～2001(平成13)年度地下水揚水量(m³/年)

| 地形区分 | 事業所区分 | 事業所数 | 平成11年度 (%) | 平成12年度 (%) | 平成13年度 (%) |
|------|-------|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 足柄平野 | 一般 | 77 | 44,271,536 (79) | 43,255,453 (79) | 42,746,029 (79) |
| | 水道 | 15 | 11,457,539 (21) | 11,652,481 (21) | 11,486,794 (21) |
| | 小計 | 72 | 55,729,075 | 54,907,934 | 54,232,823 |
| 足柄山地 | 一般 | 4 | 150,082 (25) | 116,855 (20) | 109,736 (18) |
| | 水道 | 2 | 424,754 (77) | 428,218 (80) | 506,313 (82) |
| | 小計 | 6 | 574,836 | 545,073 | 616,051 |
| 大磯丘陵 | 一般 | 5 | 424,500 (81) | 618,938 (82) | 267,371 (11) |
| | 水道 | 5 | 5,192,600 (84) | 2,141,960 (75) | 2,068,036 (89) |
| | 小計 | 10 | 5,617,100 | 2,760,898 | 2,335,407 |
| 合計 | | 88 | 61,346,175 | 60,113,928 | 57,184,265 |

2.5. 自噴量

足柄平野では、平野上流部及び箱根火山地域において涵養された地下水が、中流部において沖積層の上～中部に堆積している泥層によって被圧し、自噴域を形成している。自噴域は大井町南部から小田原市北部を結ぶ線と、国道271号(小田原厚木道路)とで挟まれる範囲に分布している。

足柄平野における初期の自噴域の分布に関しては、井上(1993)や内田(1978)の報告があり、内田(1978)では、井上による1963(昭和38)年の調査と比較し、昭和38年から昭和52年までの間に自噴域の面積が21.4km²から16.0km²へと約25%減少したと報告されている。

これらの調査以降、湧水調査チーム(1991)や土地利用検討調査により、自噴量や水質についての調査が実施され、その中で、足柄平野全体の自噴量について10,000～12,000m³/日という推定値が報告されている。一方、日比野ほか(1999)によって行われた酒匂川右岸地域における自噴井の詳細な調査では、調査範囲が全自噴域の半分以下であるにも関わらず、全域の推定自噴量の6～7割に相当する約6,900m³/日の自噴量が測定されている。ただし、日比野ほか(1999)の調査では、調査時期が1996年の8月～12月と比較的長期にわたってしまったため、他の調査結果と比較するためには、季節的な自噴量の変化について考慮する必要があると考えられる。

そこで、本報告では、これまで詳細に調査されてこなかった自噴量の季節変化について、研究会によって行われた平成12年度から3年間にわたる隔月の調査結果を基に、季節変化を考慮した足柄平野全体の自噴量の推定を行った。自噴量の推定には、研究会の調査結果を含む昭和52年以降に実施された、次の(1)～(4)の調査結果を用いた。

(1)内田幸男(1978)

(2)湧水調査チーム(1991)

(3)日比野ほか(1999)

(4)足柄上地区地下水調査研究会(宮下ほか、2003)

自噴量の経年的な変化については、2.5.1.において、同一の自噴井における自噴量データを用いて各自噴井ごとの自噴量の変化傾向について検討を行った。

また、自噴量の季節的な変化の影響については、2.5.2.において、(4)の調査における自噴量の季節変化と、他の調査結果を比較することで検討を行った。

さらに、面的な自噴量の推定は、2.5.3.において、湧水調査チーム(1991)における65地点の自噴井が平野全体の平均的な自噴井を代表しているものと仮定し、さらに、日比野ほか(1999)における調査が調査範囲内における全

自噴井を調査しているものとして、両者の結果を比較することで、平野全体の自噴量についての推定を行った。

これらの2.5.1.から2.5.3.までの検討結果を用いて、2.5.4.において足柄平野全体の年間自噴量の推定を行った。

2.5.1. 自噴量の経年変化

最も最近の調査である(4)における16地点の自噴井において、同時期(7~9月)における自噴量を比較したのが図4である。なお図中の縦軸は自噴量(L/min)、横軸の数字は西暦の下2桁を表している。

自噴量の経年変化は、増加傾向を示すもの(No.1、10)、減少傾向を示すもの(No.2、3、4、7、8、11、12、14、15)及びほぼ一定の傾向を示すもの(No.5、6、13、16)に分けることができた。この内、No.10の顕著な増加傾

向については、(4)の調査から、新規に掘削された自噴井との合計で算出されているためである。この結果ほとんどの自噴井で、1977年以降、自噴量が横這いもしくは減少していることがあらためて明らかとなった。

また一方で、(2)の調査(1989年)前後で比較した場合、多くの自噴井では、1989(平成元)年以降の自噴量はほぼ横這いであった。

この結果から、足柄平野における自噴量は、地点ごとに多少のばらつきはみられるが、昭和52年から平成元年までの間に急激に減少した後、現在までほぼ同様のレベルで推移しているものと考えられ、(2)~(4)の調査期間では、経年的な変化はなく、季節的な変化のみが生じているものと仮定し、本報告における水収支解析期間についても、年間自噴量は一定であるとした。

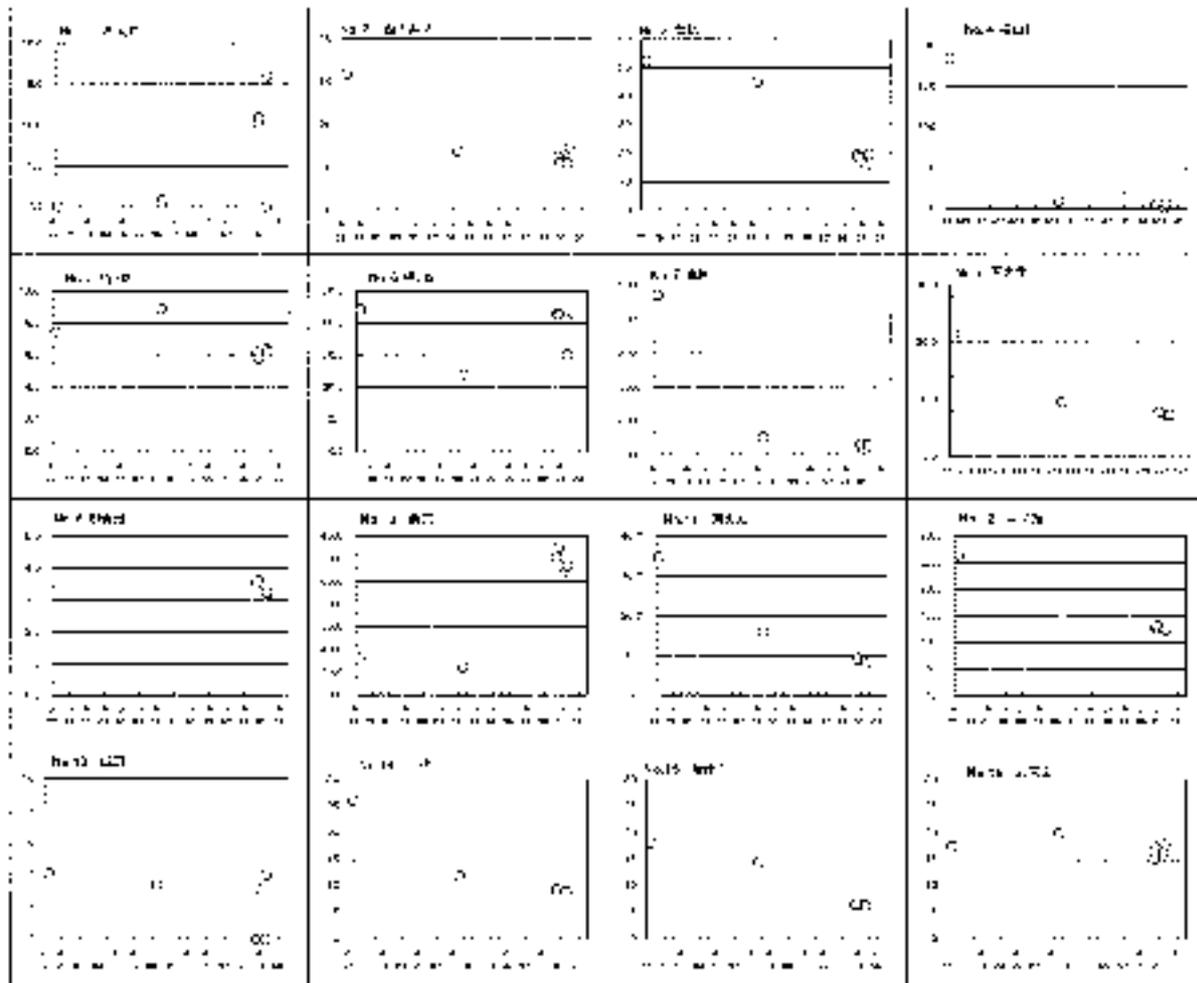


図4 自噴量経年変化(横軸の数字は西暦の下2桁、縦軸は自噴量(L/min)を表す)

2.5.2. 自噴量の季節変化

(4)の調査における自噴量の季節変化は、7月及び9月の豊水期に明瞭なピークが見られる地点(No.1,2,3,4,8)と、見られない地点がみられた。このため、全地点の自噴量の季節変化を数値モデル化することが困難であったことから、隔月で行われた2000(平成12)年度と2001(平成13)年度の調査結果を年度ごとに算術平均して年平均の自噴量とした。また、(3)の調査との比較を行うため、(3)の調査期間(8~12月)に該当する9月及び11月の調査結果を算術平均し、年平均自噴量と比較を行った。

その結果、ほとんどの自噴井及び年度で9~11月の平均自噴量が年平均自噴量を上回り、その比は最少0.91、最大3.0、平均1.26となった(表5)。このことから、(3)の調査における8~12月の平均自噴量は、季節変化を考慮した年平均自噴量の1.26倍であったと推定した。

表5 年平均自噴量及び9~11月平均自噴量(L/min)

| 自噴井 番号 | 2000年度 | | | 2001年度 | | |
|---------------------------|------------|----------------|--------|------------|----------------|--------|
| | 年平均 (A) | 9,11月 平均(B) | 比(B/A) | 年平均 (A) | 9,11月 平均(B) | 比(B/A) |
| 1 | 4.3 | 5.6 | 1.31 | 3.5 | 10.5 | 3.00 |
| 2 | 7.4 | 10.4 | 1.40 | 8.5 | 12.6 | 1.49 |
| 3 | 10.5 | 14.6 | 1.40 | 9.8 | 14.7 | 1.50 |
| 4 | 1.8 | 2.6 | 1.45 | 1.0 | 2.8 | 2.87 |
| 5 | 5.0 | 5.7 | 1.14 | 5.5 | 5.7 | 1.05 |
| 6 | 40.2 | 42.0 | 1.04 | 36.0 | 32.9 | 0.91 |
| 7 | 9.4 | 10.7 | 1.13 | 8.2 | 8.3 | 1.00 |
| 8 | 6.9 | 7.5 | 1.09 | 6.2 | 6.6 | 1.07 |
| 9 | 3.4 | 3.6 | 1.04 | 3.2 | 3.3 | 1.03 |
| 10 | 111.0 | 120.0 | 1.08 | 108.1 | 116.5 | 1.08 |
| 11 | 8.6 | 9.2 | 1.06 | 7.9 | 8.1 | 1.02 |
| 12 | 12.8 | 13.4 | 1.04 | 12.1 | 12.8 | 1.05 |
| 13 | 3.0 | 4.1 | 1.37 | 3.0 | 4.5 | 1.50 |
| 14 | 8.5 | 9.2 | 1.08 | 8.4 | 8.9 | 1.06 |
| 15 | 6.8 | 7.0 | 1.02 | 6.7 | 6.9 | 1.02 |
| 16 | 16.6 | 17.5 | 1.05 | 17.3 | 18.2 | 1.05 |
| Ave. | 10.7 | 12.4 | 1.17 | 9.8 | 11.8 | 1.34 |
| 1~16の比(B/A)の2000~2001年度平均 | | | | | | 1.26 |

2.5.3. 自噴量の空間分布

(2)の調査では、足柄平野全域を対象に65地点で自噴量を測定し、その合計は1842.1(L/min)であった。これに対し、(2)の調査地点中、(3)で調査を行った酒匂川右岸域の範囲内に位置する自噴井は26地点あり、その自噴量合計は435.4(L/min)、足柄平野全体の自噴量に占める(2)の調査における酒匂川右岸域の自噴量は23.6%であった。

一方、酒匂川右岸域を詳細に調査した(3)の合計自噴量は4801(L/min)であったことから、(3)の調査時における足柄平野全体の自噴量は、23.6%で右岸域の自噴量合計を除いた、20,342(L/min)であると推計された。

2.5.4. 足柄平野全体の自噴量の推定

2.5.1.から2.5.3.までの結果、足柄平野における自噴量は、1988年以降、経年的にはほぼ一定の値を示し、8~12月の平均自噴量は年平均自噴量の1.26倍、同時期における平野全体の自噴量は20,342(L/min)であったことから、平野全体の年間自噴量は、

$20,342 \div 1.26 = 16,145$ (L/min) (=849万 m^3 /年)であると推計した。

2.6. 地下水貯留量変化

足柄平野では、1968(昭和43)年から県企業庁によって、平野内の8観測井で地下水位の観測が開始された。その後、1982(昭和57)年に温泉地学研究所に観測が引き継がれ、観測井の追加、一部観測施設の南足柄市及び小田原市への移管並びに観測の一時中断及び再開などを経て、地下水位観測が継続されている。

足柄平野における浅層地下水位の経年的な変化については、横山ほか(1991)や宮下(1999)などにより、1970年代前半頃までの地下水位の低下傾向及び、その後の横這い傾向が報告されており、この原因について、横山ほか(1991)では、地下水揚水量の増加と三保ダムによる酒匂川流量の安定化であると推定している。

足柄平野内5地点(開成町金井島、開成町延沢、開成町吉田島、大井町金手及び小田原市成田)における2001(平成13)年度までの月平均地下水位及び気象庁小田原気象観測所観測の降水量を図5に示した。

足柄平野における地下水位は、地点により振幅の差はあるものの、ほぼ同様の季節変化を示しており、3月に水位が最も低下し、水田への灌漑による急激な地下水位の上昇(5,6月)を経て、8,9月に最高となり、その後緩やかに低下している。

また、小田原における年間降水量と年間の地下水位変化量(ある年の12月の地下水位と前年の12月の地下水位との差として定義)との関係については、宮下(1999)において考察がなされており、そこでは、地点や年によるばらつきは大きい、気象庁小田原気象観測所における年降水量1950mm付近を境として、年降水量の多い年には地下水位は前年より上昇し、逆に少雨の年には地下水位が低下する傾向があることが示されるとともに、この地下水位が増加もしくは減少に転ずる境界となる降水量が、平年値とほぼ一致することから、近年における足柄平野では、地下水の流入と流出がほぼ釣り合った状態にあると推察している。

一方、地下水収支を年ごとに行った場合、平衡状態に達するまでの遅れや地下水貯留量変化量の地域差などに

より、長期的には収支バランスがとれている(地下水貯留量変化 = 0)と見なされる場合においても、年単位での算出においては、地下水貯留量変化が0とならない場合が生じることが考えられる。

年単位の地下水貯留量の変化量は、年度間の地下水位の差を用いて算定することが出来る。本解析では、研究会が実施してきた1999(平成11)年度から2001(平成13)年度までの地下水位一斉測水調査結果を用いて、平野全体の年度間の地下水位差を算出し、各年度ごとの地下水貯留量の変化量について算出した。

各年度間の地下水位差は、前年度に行った豊水期と渇水期の地下水位の平均値から、当該年度の同平均値の差を当該年度の地下水位差とした。宮下ほか(2003)に示した地下水位一斉測水調査結果から、3年間にわたって欠測データのない43地点を選定し、算術平均により、2000(平成12)年度、及び2001(平成13)年度の地下水位変化量を算出し、表6に示した。

この結果、2000(平成12)年度は前年度と比べて、平野全体で10cm地下水位が低下し、2001(平成13)年度は同じく13cm低下していた。

地下水の貯留量変化量は次式により求めた。

貯留量変化量

$$= \text{地下水位の変化量} \times \text{足柄平野の面積} \times \text{有効間隙率}$$

平野全体の自由地下水の帯水層部分の有効間隙率を、一般的な礫層の値である0.2と仮定し、貯留量変化量を算出した結果、平成12年度は-135(万m³/年)、平成13年度は-175(万m³/年)と算出された。

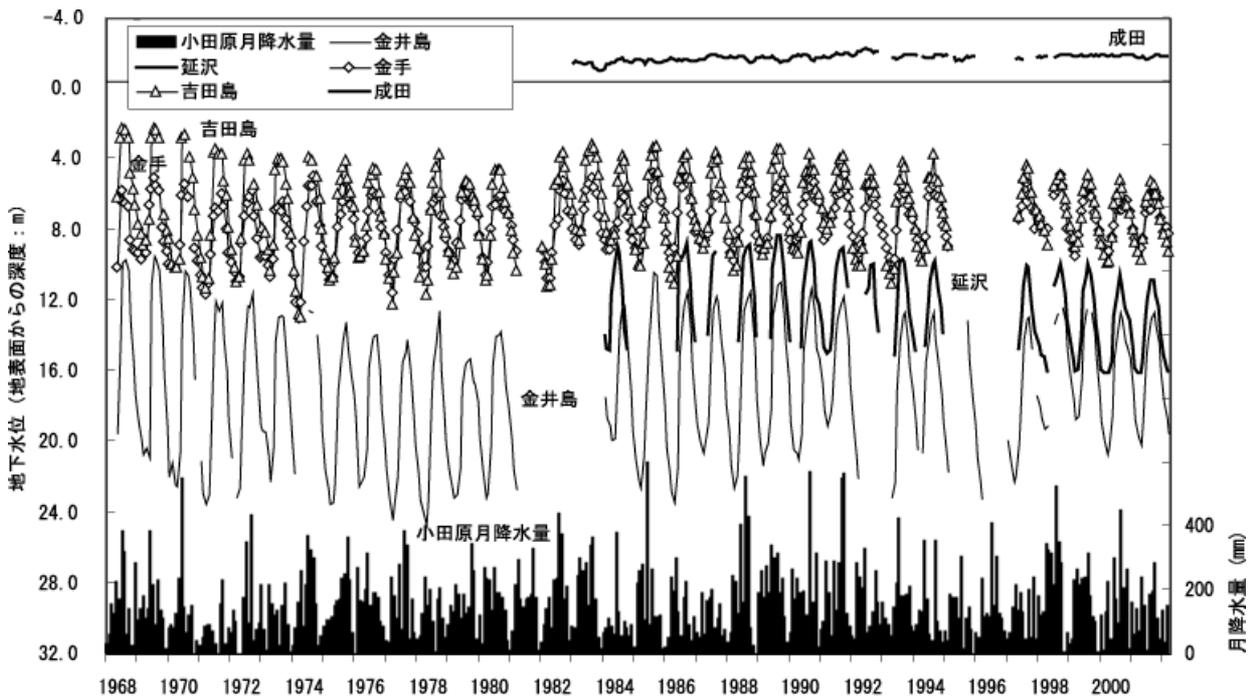


図5 足柄平野地下水位経年変化と月降水量

表6 足柄平野における年度間の地下水位差

| 地下水位標高 (m) | 1999(平成11)年7月 | 2000(平成12)年2月 | 2000(平成12)年7月 | 2001(平成13)年2月 | 2001(平成13)年7月 | 2002(平成14)年2月 |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 足柄平野43地点平均値 | 29.23 | 28.30 | 28.85 | 28.47 | 28.78 | 28.28 |
| 年度平均値 | 28.76 | | 28.66 | | 28.53 | |
| 2000(平成12)年度地下水位変化 | | | 0.10 | | | |
| 2001(平成13)年度地下水位変化 | | | | | -0.13 | |

表7 足柄平野における水収支項目一覧

| 対象面積 67.38km ² (単位: 万m ³ /年) | 1999(平成11)年度 | 2000(平成12)年度 | 2001(平成13)年度 | 平均 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------|
| 降水量 | 13,004 | 11,825 | 11,003 | 11,944 |
| 蒸発散量 | 3,971 | 3,930 | 3,949 | 3,950 |
| 平野外からの河川水流入量 | 97,834 | 80,571 | 89,521 | 89,309 |
| 平野外からの灌漑水流入量 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 平野外への河川水流出量 | 102,245 | 81,707 | 96,795 | 93,582 |
| 平野外への灌漑水流出量 | 8,090 | 9,480 | 8,608 | 8,726 |
| 地下水揚水量 | | | | |
| 事業所揚水量→河川へ戻る | 4,427 | 4,337 | 4,275 | 4,346 |
| 水道用揚水量→下水道等系外へ | 1,144 | 1,180 | 1,149 | 1,158 |
| 自噴量(推計) →河川へ戻る | 849 | 849 | 849 | 849 |
| 地下水貯留量変化(推計) (ーは減少) | | -135 | -175 | -155 |

3. まとめ

足柄平野における地下水収支項目についての解析を行い、以下の結果が得られた(表7)。

- (1) 平野全体の降水量は、各測定点で観測された降水量を算術平均し、平野の面積を乗じた結果、11,003～13,004万m³/年と算定された。
- (2) 蒸発散量は小田原アメダスで観測された月平均気温からソーンズウェイト法により算定し、3,930～3,971万m³/年と算出された。
- (3) 河川水等流入量は、継続的に観測されている河川流量等のデータの提供を受け、平野の表流水の増減を計算した結果、平野外からの河川水の流入量は80,571～97,834万m³/年、河川水及び灌漑水を合わせた平野外への表流水流出量は91,187～110,335万m³/年と算定された。
- (4) 地下水揚水量は年間約5,500万m³であり、その約8割が一般事業所による揚水であった。
- (5) 自噴量は、過去の調査データと今回の季節変動調査の結果から、調査期間中においては有意な経年変化は認められず、年間自噴量は849万m³と推定された。
- (6) 近年における足柄平野の地下水貯留量は、長期的にはほぼ一定に保たれていると推察されているが、年単位では平衡状態に達するまでの遅れや地下水貯留量変化量の地域差などにより、変化が見られる場合がある。貯留量変化を地下水位変化から求めると、平野全体の平均の地下水位は、1999(平成11)年度から2000(平成12)年度にかけて10cm、2000(平成12)年度から2001(平成13)年度にかけて13cmそれぞれ低下しており、地下

水貯留量変化は、2000(平成12)年度は-135万m³、2001(平成13)年度は-175万m³と推定された。

これらの結果を基に、足柄平野における地下水収支を模式的にあらわしたのが図6である。図6では、平成11年度から平成13年度の平均の値を記載した。

ここでは、以下の仮定のもとに算出を行った。

降水量から蒸発散量を引いた全量が地下へ浸透する。

自噴井及び事業所からの揚水量は、全て流域内の河川に排水される。

水道事業所による揚水は、全て下水道を経由して、流域外に排出される。

これらの仮定のもとに、平成11年度から13年度までの期間において、降水から地下水への流入量は7,994万m³/年、表流水から地下水への流入量は-7,905万m³/年(河川から地下へが正)と算定された。

謝辞

本報告では、解析の一部に、県企業庁利水局三保事務所や神奈川県内広域水道企業団飯泉管理事務所、小田原市等から提供していただいたデータを用いました。

また、本報告をまとめるにあたっては、足柄上地区地下水調査研究会及び同ワーキンググループの各位より、有益なご指摘並びにご意見を賜りました。

ここに記して感謝いたします。

なお、本報告は、足柄上地区地下水調査研究会(2003)「足柄上地区の地下水の状況」の一部を加筆・修正したものである。

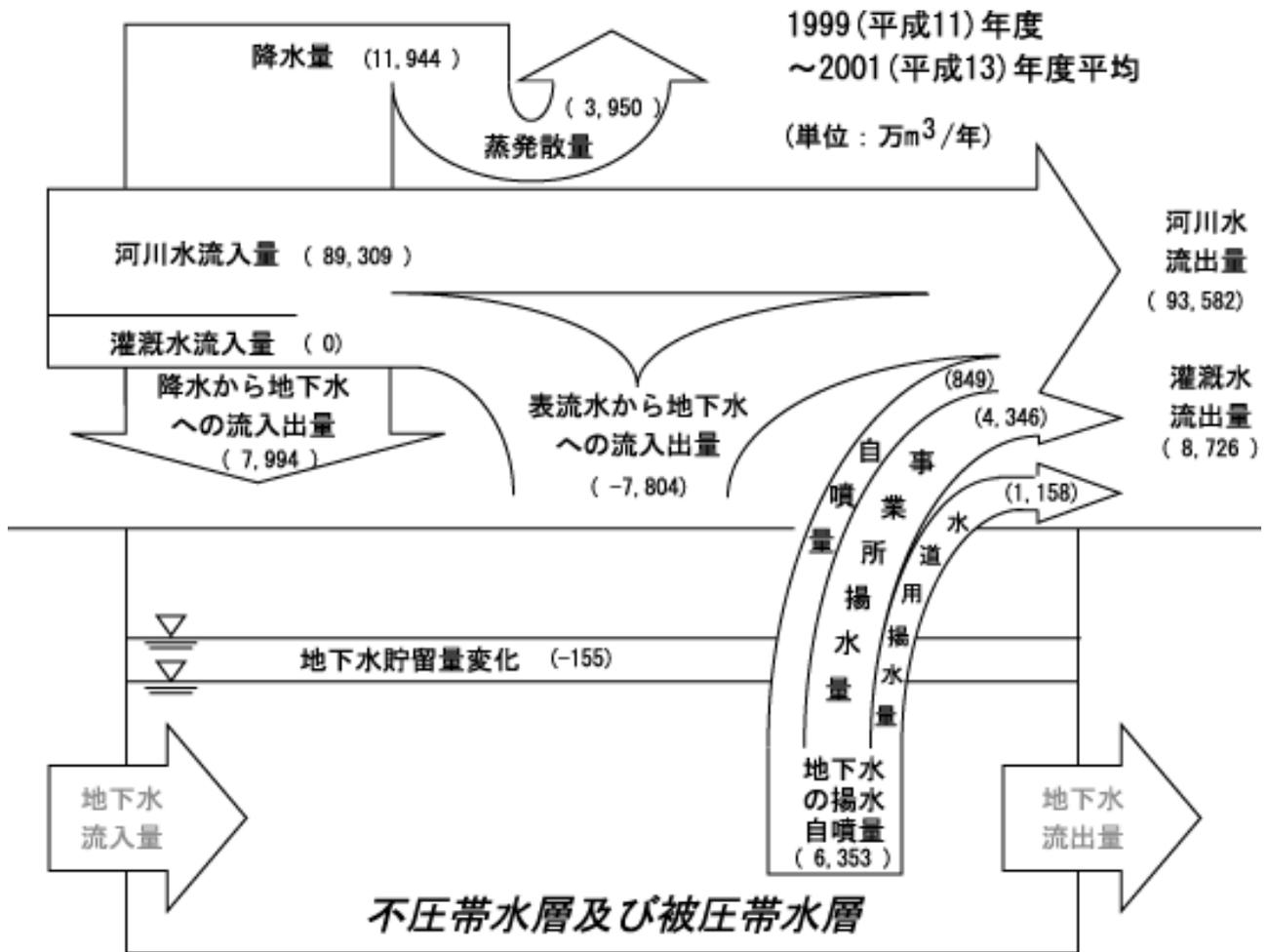


図6 足柄平野地下水収支模式図

参考文献

日比野英俊、粟屋徹、板寺一洋、横山尚秀、長瀬和雄、平野富雄（1999）酒匂川右岸地域の自噴井戸，温地研報告，30，19-32．

井上義光（1993）足柄平野の地下水，開成町史研，7，67-92．

宮下雄次（1999）足柄平野および大磯丘陵における過去30年間の地下水位観測結果，温地研報告，31(1)，57-73．

宮下雄次、小沢清、寺下明文、渡辺均、保坂由文、日比野英俊、熊澤重雄、曾我裕之、高橋秀夫、山口裕之、依田貞彦、岡本智裕、中戸川進二（2003）足柄平野及び大磯丘陵における地下水調査結果(1999～2002年)，温地研報告，35，63-78．

温泉地学研究所（1988）酒匂川流域の水涵養機能調査報告書，88p．

温泉地学研究所（1991）地下地質資料集 - 県西部地域 - ，50p．

内田幸男（1978）神奈川県足柄平野の地下水 = その1 = ，県立小田原城内高等学校図書館紀要，第2号，90-120．

湧水調査チーム（1991）湧水調査結果報告，神奈川県温泉地学研究所，38p．

横山尚秀、荻野喜作、大木靖衛、結田康一（1986）足柄平野上流部の地下水温度変化と地下水かん養機能(足柄平野の地下水 その10)，温地研報告，17(5)，335-352．

横山尚秀、平野富雄、長瀬和雄（1991）足柄平野及び大磯丘陵の地下水位観測結果(昭和62、63年)，温地研報告，22(3)，179-196．