

多摩川上・中流における水温の 実態とその形成機構に関する研究

— 多摩川上・中流および奥多摩湖における水温と熱収支について —

1980年

西 沢 利 栄

筑波大学地球科学系教授

目 次

| | | |
|-----|----------------------------|----|
| I | まえがき | 1 |
| II | 調査地域の概況と流域の地形特性 | 4 |
| | 1. 調査地域の概況 | 4 |
| | 2. 流域の水系網特性 | 4 |
| | 3. 流量と水系網 | 9 |
| III | 多摩川水系の水利施設 | 10 |
| IV | 多摩川水系における水温の年変化 | 13 |
| | 1. 本流沿いの水温年変化 | 14 |
| | 2. 支流の水温年変化 | 16 |
| V | 多摩川水系における水温の日変化 | 18 |
| | 1. 多摩川に沿う水温の日変化 | 18 |
| | 2. 上流（発生源）における水温の日変化 | 22 |
| | 3. 河川水温に及ぼす奥多摩湖の影響とその影響の消滅 | 24 |
| | 1) 1978年9月10日～11日の場合 | 27 |
| | 2) 1979年1月24日～25日の場合 | 30 |
| | 3) 1979年3月28日～29日の場合 | 33 |
| | 4) 中・下流域における水温日変化 | 35 |
| VI | 河川水温の形成機構 | 40 |
| | 1. 河川水の熱収支 | 40 |
| | 2. 河川水質と熱収支の観測結果 | 41 |
| VII | むすび | 45 |
| | 参考文献 | 46 |

多摩川上・中流における水温の実態とその形成機構に関する研究

—— 多摩川上・中流および奥多摩湖における水温と熱収支について ——

研究代表者 西 沢 利 栄

研究分担者 平 山 勝 美

山 下 孔 二

小 柳 正 弥

内 藤 ふ み

朝 倉 啓 爾

I ま え が き

河川の水温は、河川生態系に影響するとともに、その水を利用する農業や工業あるいは上水道などとも係わる重要な問題である。

他方、水利施設が築造されると、その影響は、施設より下流の水温に及び、特に、大容量の貯水池の場合には、水温の年変化を変えてしまうし、上流で形成された水温の日変化を吸収してしまい、それより下流の水温変化との間には連続性がなくなる。

わが国における河川水温の研究は、1920年岡¹⁾による大山川上流における河川水温の年変化に関する統計的研究に始まる。その後、この種の研究が数多く発表されるようになり、水温年変化型が、気温との関係で、上流型・中流型・下流型の3つに区分された。そして、それぞれの特性は、表1のように総括される。

表1 日本における河川水温の年変化型 (森田、1967)

\bar{t}_w : 河川水温の月平均、 \bar{t}_a : 気温の月平均

| 温度区分 類型 区分 | $\bar{t}_w < \bar{t}_a$ なる場合 | | $\bar{t}_w > \bar{t}_a$ なる場合 | |
|------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|------------------|
| | 出現する時期 | 両者の差 | 出現する時期 | 両者の差 |
| 下流型 | 6月・7月 | 約2℃ | 2月・3月 | 3℃以内 |
| 中流型 | 夏をはさんで 5～8ヶ月 | 4℃以上 | 2月 | 3℃以上 |
| 上流型 | 1年の大部分 | 中流型より大 (4℃以上) | 1月～3月 | 中流型より大 (4℃以上) |

このような統計的手法による研究に対し、1950年代に入ってから、水温の成立機構を河川水の熱収支から明らかにしようとする研究が行われる様になった。外国では、EckelとReiter²⁾が、わが国では孫野・熊井・東³⁾による美生川での研究が嚆矢となって、京都大学・農業技術研究所・河川水温調査会などのグループによって精力的な研究が進められ、その成果も大きいものがあつた。

しかし、このような熱収支の立場からの研究は、河川を一本の水流としてとらえ、その特定区間の水温変化を水面からの熱の出入によって求め、その積分によって網目のような水流をつくって流れる河川の水温成立機構を説明しようとする研究であつた。

しかし、1960年代後半からは流域をもつた河川としての認識に立つた研究が、西沢⁴⁾や森田⁵⁾～II)によって行われる様になった。すなわち、網目のような水流の水面における熱収支は、もちろんのこと流域全体の水収支に伴う流出の影響も受けて水温は形成されるという認識である。

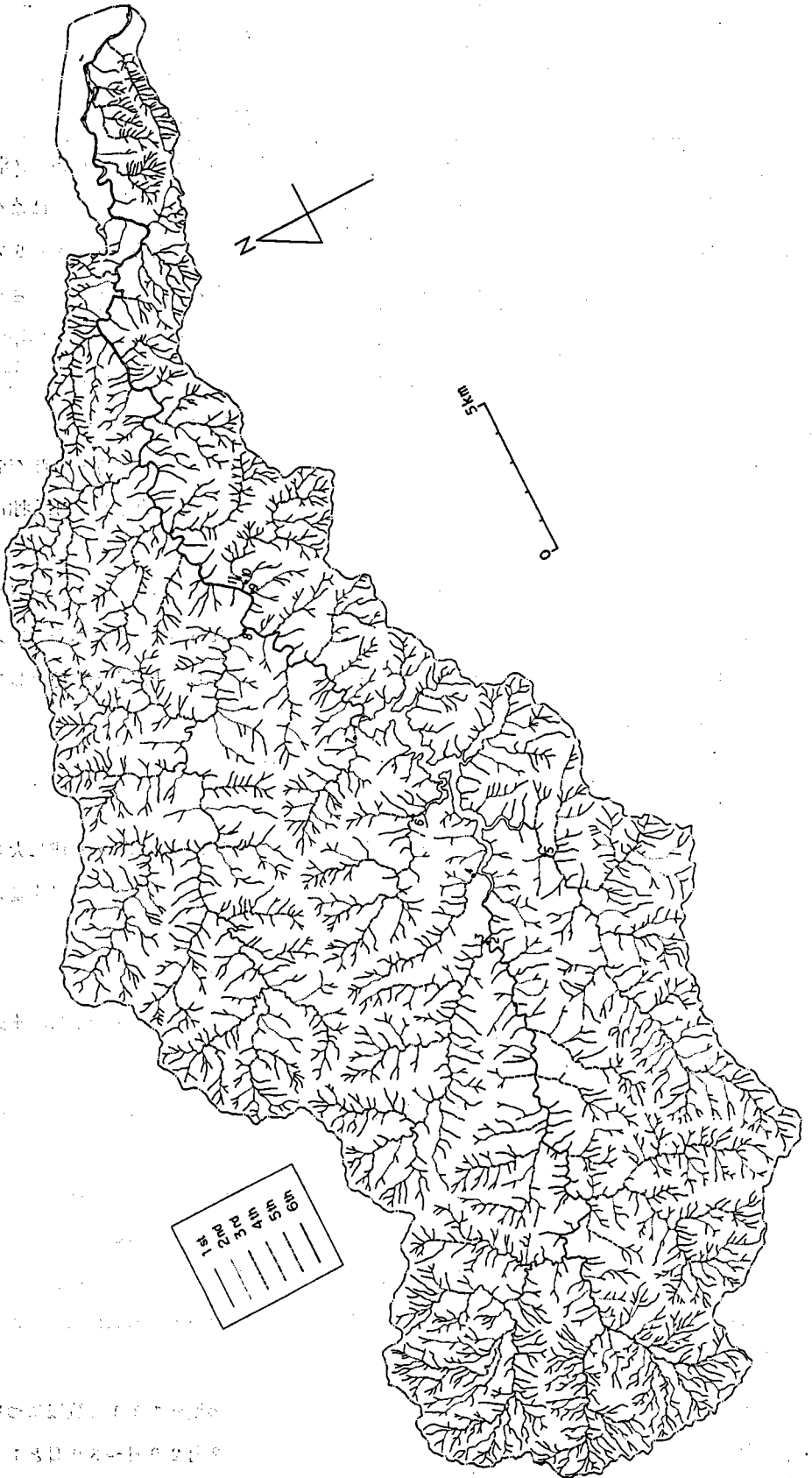
さらに、以上のような研究に加えて、水利施設の築造に伴う水温変化に関する研究^{12)～15)}も1950年代後半から行われるようになった。流域の何処かに水利施設が築造されると、その影響が、施設より下流の水温に及び、自然状態のもとで形成された水温が変えられてしまう。そしてその変化は、施設が貯水池であるか、水路であるか、又は貯水池の容量が大きいか、小さいかによって異なる。しかし、水利施設の影響も、流下するに従って小さくなり、水温は次第に自然の状態に復元する。

本研究では、調査が奥多摩湖を含み、ほぼ多摩川全域及び、水温の時間変化と空間分布の実態を明らかにするとともに、その形成メカニズムを求めることを目的として実施されたものである。

そして、その内訳は、上流では水温の成立機構を、下流では、水温に及ぼす水利施設の影響と影響を受けた水温が、復元するメカニズムを、さらに奥多摩湖では湖内の水温垂直分布など4つの部分から構成され、多摩川を1つのシステムとして水温成立の機構を把握しようとするものである。

多摩川流域水系網

1. 多摩川
 2. 荒川
 3. 利根川
 4. 荒瀬川
 5. 利根川
 6. 荒瀬川
 7. 利根川
 8. 荒瀬川
 9. 利根川
 10. 荒瀬川
 11. 利根川
 12. 荒瀬川
 13. 利根川
 14. 荒瀬川
 15. 利根川
 16. 荒瀬川
 17. 利根川
 18. 荒瀬川
 19. 利根川
 20. 荒瀬川
 21. 利根川
 22. 荒瀬川
 23. 利根川
 24. 荒瀬川
 25. 利根川
 26. 荒瀬川
 27. 利根川
 28. 荒瀬川
 29. 利根川
 30. 荒瀬川
 31. 利根川
 32. 荒瀬川
 33. 利根川
 34. 荒瀬川
 35. 利根川
 36. 荒瀬川
 37. 利根川
 38. 荒瀬川
 39. 利根川
 40. 荒瀬川
 41. 利根川
 42. 荒瀬川
 43. 利根川
 44. 荒瀬川
 45. 利根川
 46. 荒瀬川
 47. 利根川
 48. 荒瀬川
 49. 利根川
 50. 荒瀬川
 51. 利根川
 52. 荒瀬川
 53. 利根川
 54. 荒瀬川
 55. 利根川
 56. 荒瀬川
 57. 利根川
 58. 荒瀬川
 59. 利根川
 60. 荒瀬川
 61. 利根川
 62. 荒瀬川
 63. 利根川
 64. 荒瀬川
 65. 利根川
 66. 荒瀬川
 67. 利根川
 68. 荒瀬川
 69. 利根川
 70. 荒瀬川
 71. 利根川
 72. 荒瀬川
 73. 利根川
 74. 荒瀬川
 75. 利根川
 76. 荒瀬川
 77. 利根川
 78. 荒瀬川
 79. 利根川
 80. 荒瀬川
 81. 利根川
 82. 荒瀬川
 83. 利根川
 84. 荒瀬川
 85. 利根川
 86. 荒瀬川
 87. 利根川
 88. 荒瀬川
 89. 利根川
 90. 荒瀬川
 91. 利根川
 92. 荒瀬川
 93. 利根川
 94. 荒瀬川
 95. 利根川
 96. 荒瀬川
 97. 利根川
 98. 荒瀬川
 99. 利根川
 100. 荒瀬川



II 調査地域の概況と流域の地形特性

1. 調査地域の概況

多摩川は、山梨県塩山市の笠取山南面直下の通称「水干」、正確には、塩山市一ノ瀬高橋字奥平にその源を発する。笠取山の標高は、1953mであるが、多摩川流域の最高峰ではなく、最高峰は、唐松尾山で標高2109mである。以下、大洞山(2069m)、大菩薩嶺(2057m)、笠取山(2018m)、竜喰山(2012m)があり、2000m以上の山は5つを数え、さらに大常木山(1962m)、笠取山(1953m)などの山々が続く。これら2000m級の山の多くは、流域北側——荒川水系との分水嶺に連なっており、相模川・富士川水系との分水嶺に位置するのは大菩薩嶺のみであり、多摩川流域をとり囲む分水嶺は、北側の方が南側より高い。

笠取山下、1880mの水干に源を発する川は、一之瀬川、丹波川、多摩川と呼び名を変え、小菅川、日原川、秋川、浅川など多くの支流を集め、ほぼ東南東に流れ、東京都太田区羽田で東京湾に注ぐ幹川流路長123kmの一級河川である。

流域は、山梨県と東京都に属し、その面積は、1240km²である。そして、山梨県側が16%(210km²)、東京都側が83%(1030km²)をそれぞれ占めている。水源地の大半は、山梨県に属するが、水利用の面から考えると、東京都の河川といえるし、上水道の水源としての重要性は、江戸時代から現在に至るも変わらない。

2. 流域の水系網特性

河川の上流では、谷の深さや谷の向き、流下距離などの地形特性が水温の形成に大きく影響する。その上、いろいろ地形特性の異なる流路を経た水流が合流し、流量を増し、水温を変えていく過程は、流域の水系網特性とも密接に関係する。

そこで、まず最初に多摩川流域の水系網特性について調べてみた。

水系網の特性は、西多摩郡羽村町より上流域について、ストレーラーの方法で、水流のオーダーリングを行い、それによって特性を調べた。

オーダーリングは、国土地理院発行の5万分の1の地形図によって行い、また、水流の長さの計測は、同縮尺地形図で2分の1mm(水系の長さで25m)を最小読取り単位とした。

水系網の図がこの結果を示す。もちろん、図中の第1次水流には、常時、水流が見られる訳ではなく、ある程度以上の降雨のときにはじめて水流が見られる様な水系である。

図からもわかる様に、流域は、ほぼ西から東に向き、本流も、その向きに従って流下しているが、その本流を形成する各支流は、必ずしも西から東への水流ではなく、あらゆる方向からのもので成り立っている。

図II-2は、図II-1を縮したもので、図中番号を付した縞模様の11の流域についてのみ、ホートンの法則を適用してみた。これらの流域は、1977年12月29日~30日と1978年2月26

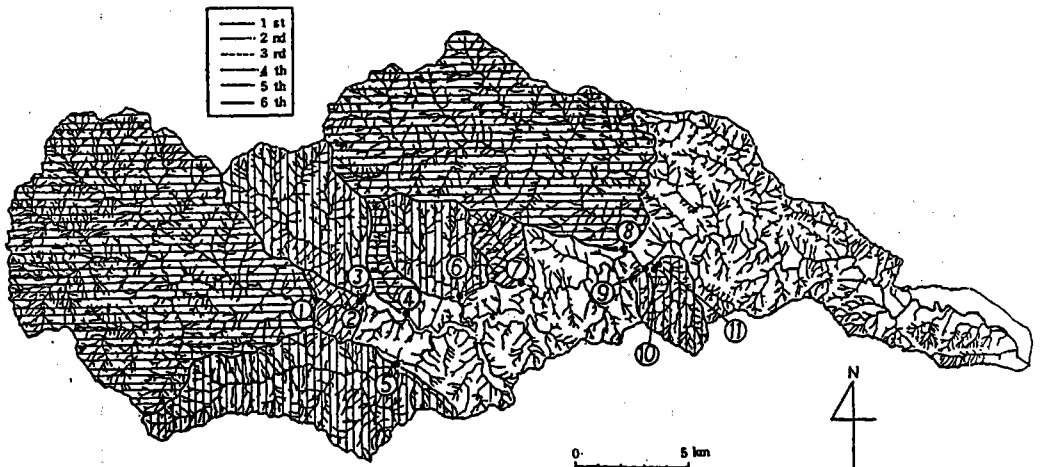
日～27日の2回にわたって、水温及び流量の調査を実施した流域で、これらの地点番号と河川名は次の通りである。

| (地点番号) | (地点名) | (川名) |
|--------|---------|-------|
| 1 | 保の瀬 | 丹波川 |
| 2 | お祭 (b) | 丹波川 |
| 3 | お祭 (a) | 後山川 |
| 4 | 鴨沢 | 小袖川 |
| 5 | 小菅 | 小菅川 |
| 6 | 雲風呂 | 峰谷川 |
| 7 | 水根沢 | 水根沢谷 |
| 8 | 氷川大橋 | 日原川 |
| 9 | 綾瀬橋 | (名無し) |
| 10 | 海沢谷 (a) | 海沢谷 |
| 11 | 海沢谷 (b) | 海沢谷 |

各次数毎の水流の数と次数の関係(ホートンの第1法則)は、表Ⅱ-1及び図Ⅱ-3に示す通りで、各流域とも、ほぼ、ホートンの第1法則が成り立つと考えられる。

次に各次数毎の水流の長さ和水流の次数の関係(ホートンの第2法則)は、図Ⅱ-4に示す通りで、必ずしも、すべての流域で、ホートンの第2法則が充されていない。

図Ⅱ-2 多摩川流域の水系網(ストレーラーの方法によるオーダーリング)



表II-1 多摩川流域における水系網特性の計測結果

| 流域番号 | 地点名 | 河川名 | 水 流 本 数 | | | | | | 総 水 流 長 (Km) | | | | | | 平 均 水 流 長 (Km) | | | | | |
|------|-------|-------|---------|-----|----|----|----|--------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|------|------|-------|------|-------|
| | | | 1次 | 2次 | 3次 | 4次 | 5次 | 6次 | 1次 | 2次 | 3次 | 4次 | 5次 | 6次 | 1次 | 2次 | 3次 | 4次 | 5次 | 6次 |
| 1 | 保の瀬 | 丹波川 | 723 | 190 | 44 | 11 | 4 | 1 | 252.10 | 92.68 | 52.13 | 19.25 | 10.50 | 14.80 | 0.35 | 0.49 | 1.18 | 1.75 | 2.63 | 14.80 |
| 2 | お祭b | 丹波川 | 741 | 197 | 45 | 11 | 4 | 1 | 258.20 | 96.58 | 52.70 | 19.25 | 10.50 | 17.80 | 0.35 | 0.49 | 1.17 | 1.75 | 2.63 | 17.80 |
| 3 | お祭a | 後山川 | 137 | 34 | 8 | 2 | 1 | 49.98 | 18.05 | 9.55 | 7.68 | 3.55 | | 0.36 | 0.53 | 1.19 | 3.84 | 3.55 | | |
| 4 | 鴨 沢 | 小軸川 | 30 | 6 | 1 | | | 9.85 | 2.83 | 4.75 | | | | 0.33 | 0.47 | 4.75 | | | | |
| 5 | 小 菅 | 小菅川 | 209 | 57 | 14 | 3 | 1 | 82.48 | 33.93 | 11.25 | 11.18 | 4.20 | | 0.39 | 0.60 | 0.80 | 3.73 | 4.20 | | |
| 6 | 雲 風 呂 | 峰谷川 | 74 | 18 | 5 | 1 | | 25.80 | 6.98 | 8.28 | 3.63 | | | 0.35 | 0.39 | 1.66 | 3.63 | | | |
| 7 | 水 根 沢 | 水根沢谷 | 37 | 12 | 2 | 1 | | 13.13 | 5.65 | 1.75 | 2.65 | | | 0.35 | 0.47 | 0.88 | 2.65 | | | |
| 8 | 氷川大橋 | 日原川 | 443 | 106 | 19 | 6 | 1 | 166.53 | 54.28 | 26.28 | 19.75 | 16.48 | | 0.38 | 0.51 | 1.38 | 3.29 | 16.48 | | |
| 9 | 緩瀬橋 | (名無し) | 7 | 2 | 1 | | | 2.43 | 1.90 | 0.13 | | | | 0.35 | 0.95 | 0.13 | | | | |
| 10 | 海沢谷a | 海沢谷 | 3 | 1 | | | | 1.15 | 0.90 | | | | | 0.38 | 0.90 | | | | | |
| 11 | 海沢谷b | 海沢谷 | 58 | 16 | 3 | 1 | | 17.05 | 5.35 | 1.70 | 4.73 | | | 0.29 | 0.33 | 0.57 | 4.73 | | | |

図 II-3 水流次数と水流の数

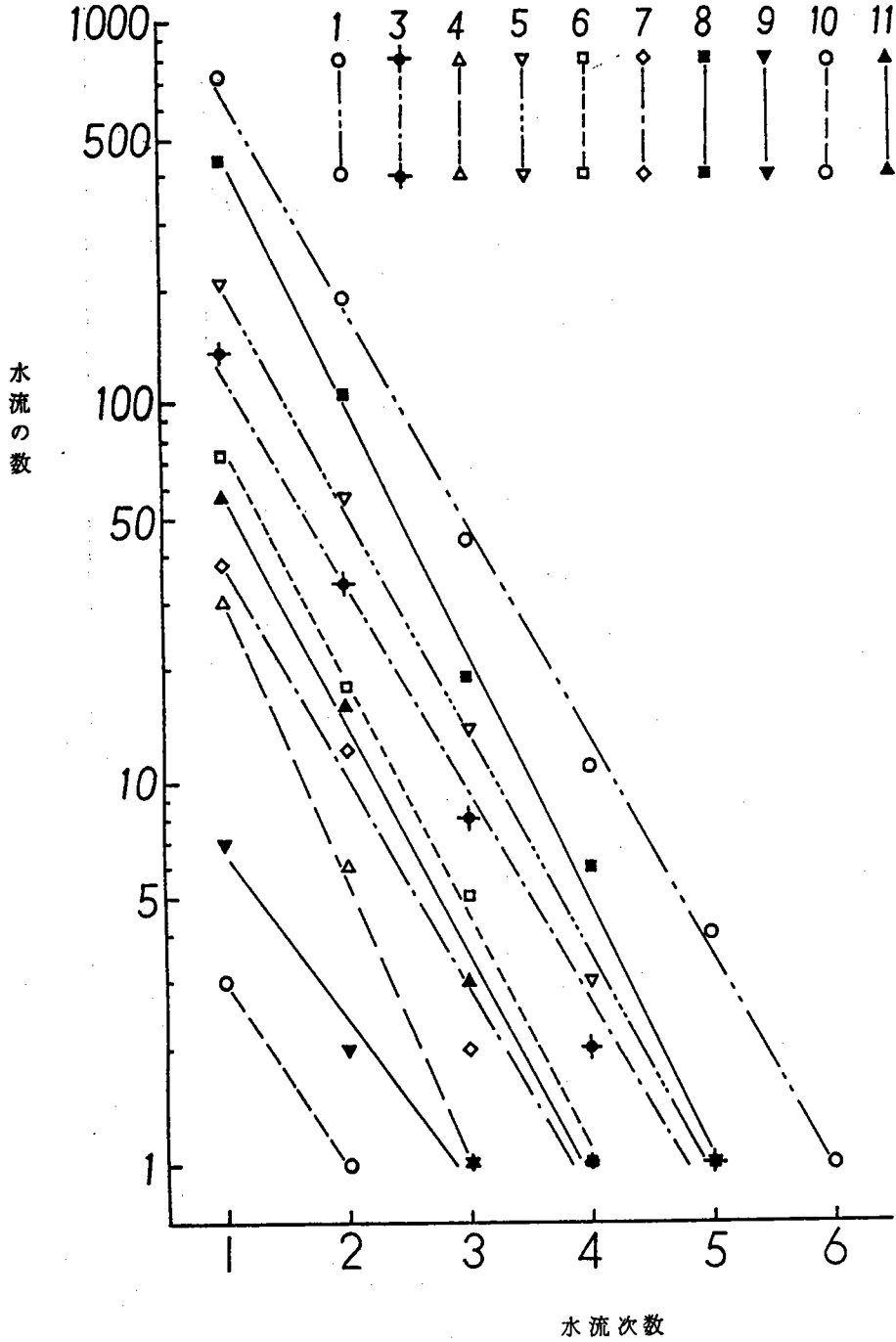
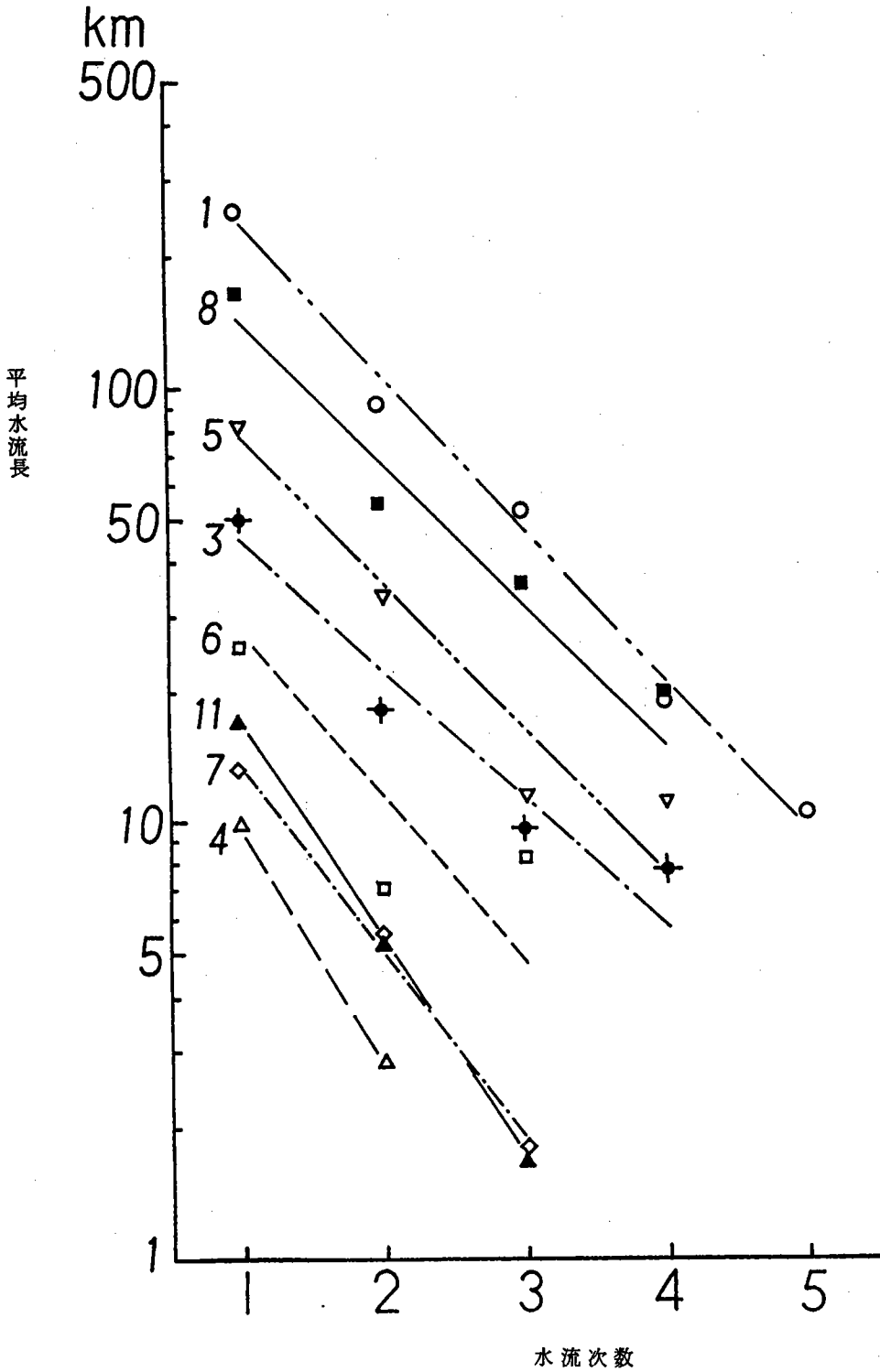


図 II - 4 平均水流量と水流次数



3. 流量と水系網

地下水流出による基底流量は、地下水による河川への持込み熱量を知る上で重要である。

他方、基底流量と水系網との間には、西沢の理論として次の関係がある。

$$Q_u = \Gamma_u (\bar{l}_u N_u \bar{q}_{Gu}) \quad (1)$$

ここで Q_u は u 次水流を最高次数とする流域の流量で、 \bar{l}_u と N_u はその流域内の u 次水流の平均水流長と水流の数で、 \bar{q}_{Gu} は u 次水流の単位長さ当りの基底流量、 Γ_u は流量にかかわる流域の相似率である。

すなわち、 Γ_u が同じ値を示す流域からの基底流量は、各流域の $(\bar{l}_u N_u)$ と \bar{q}_{Gu} に比例することになり、さらに \bar{q}_{Gu} が各流域で同一の値であれば、基底流量は、 $(\bar{l}_u N_u)$ に比例することになる。

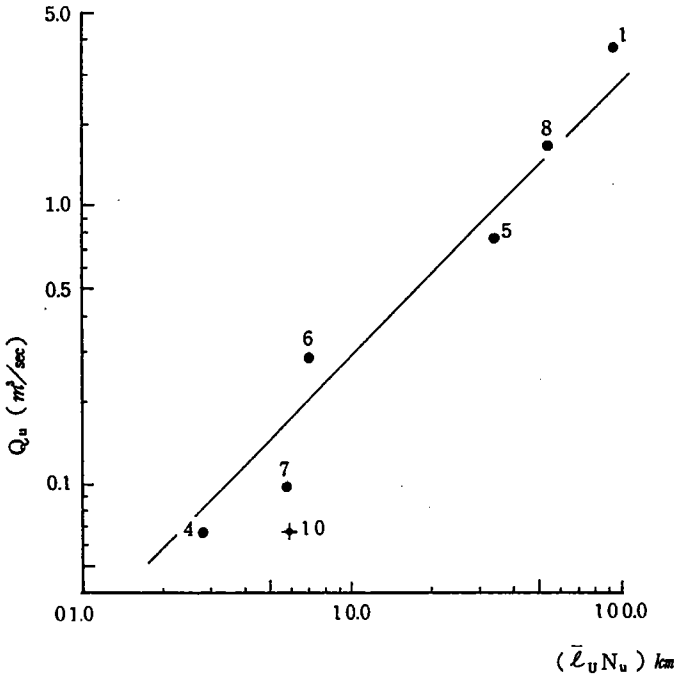
表II-4は流量(表II-2)と各流量観測点の流域における $(\bar{l}_u N_u)$ の関係を示したものである。

ここで u として2次を用いた。

表II-2 流量観測結果 (1977年12月29日)

| 地点 番号 | 地点名 (河川名) | 流量 ($m^3/sec.$) |
|----------|---------------|----------------------|
| 1 | 保の瀬 (丹波川) | 3.81 |
| 4 | 鴨沢 (小袖川) | 0.065 |
| 5 | 小菅 (小菅川) | 0.76 |
| 6 | 雲風呂 (峰谷川) | 0.29 |
| 7 | 水根沢 (水根沢谷) | 0.097 |
| 8 | 氷川大橋 (日原川) | 1.35 |

図 II - 4 $(\bar{L}_2 N_2)$ と流量の関係 (図中の番号は地点番号)



図からも、基底流量と水系網の関係が(1)式で示されることが理解されるし、また、ここで用いた各流域の ΓU と $\bar{p} G_u$ が、ほぼ等しい値であることも明らかであるといえる。

III 多摩川水系の水利施設

多摩川流域で最大の水利施設は、小河内ダムと奥多摩湖(小河内貯水池)である。小河内ダムは、東京への給水と発電を主目的として計画され、1932年東京市議会が建設を正式に決定し、1938年に起工、1943年工事一時中止、1948年工事再開、そしてようやく1957年11月、東京都西多摩郡奥多摩町に完成した。ダムおよびそれによって出現した奥多摩湖は東京都に属するが、その集水域のほとんどは、先にも述べたように山梨県側にある。このダムは水道用水の確保、水力発電、洪水調節、灌漑水確保をも兼ねた多目的ダムである。

貯水池およびダムの概要は次のとおりである。

| | |
|------|---------------|
| 流域面積 | 262.88 km^2 |
| 満水面積 | 4.25 km^2 |
| 満水周長 | 45.37 km |

| | |
|-------|--------------|
| 満水位標高 | 526.50 m |
| 有効貯水量 | 18540万 m^3 |
| 堤高 | 149.0 m |
| 堤長 | 353.0 m |

この他、図Ⅲ-1に示すように、奥多摩湖を頂点として多摩川には、いくつかの水利施設がある。発電施設としては、小河内ダム直下の多摩川第1発電所、奥多摩町氷川発電所、そして青梅市御岳の多摩川第3発電所の3つである(表Ⅲ-1参照)。

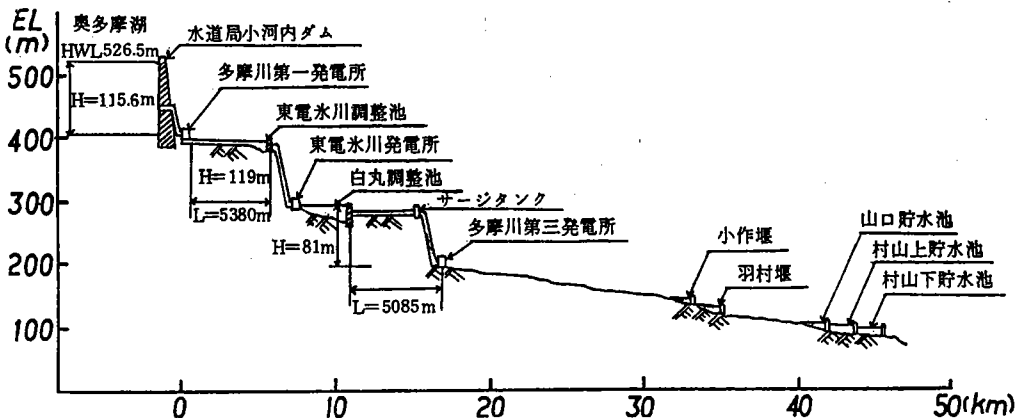
多摩川第1発電所は、奥多摩湖の満水位から73.5mの深さで取水し、最大有効落差106.74m、常時有効落差87.00mで発電を行う。発電使用後の水は、隧道により東京電力氷川発電所に送られると同時に、残りの水は、多摩川に放流される。多摩川第1発電所の最大使用水量は、21.5 m^3/sec 、常時使用水量は、7.93 m^3/sec で、電力需要にあわせ、日中に使用水量(発電量)が多くなる。

東京電力氷川発電所は、多摩川第1発電所で使用した後の水を用いて発電を行う有効落差107.7mの水路式発電所である。発電使用後の水は、青梅線白丸駅下で多摩川本流に放流される。従って、ここで放流される水は、奥多摩湖の深層で取り入れられた水がほとんどで、大気との熱の交換を行わずに、約5.5Km流下し、河川に戻され、日原川および海沢谷などの支流を集めた多摩川本流とここで合流する。

合流地点より約1.7Km下流には白丸調整池ダムがあり、そこで多摩川第3発電所の発電用水が取り入れられ、再び隧道によって約5Km流下し、最大有効落差70.55mによって発電に使用される。発電後は御岳で多摩川本流に放流され、白丸調整池で多摩川本流に放流された河川維持用水と大丹波川の支流をあつめた水と合流する。白丸調整池は、電力消費が少ない深夜に貯水を行い、朝夕の電力消費が増加する時間に使用する。このための調整池の水位は、毎日約3m前後変動する。

御岳の多摩川第3発電所から放流され、多摩川と合流した水は、その後発電に使用されることなく流下し、御岳から約18Km下流の羽村で取水された後の残流水は多摩川を流れ、秋川、浅川さらに野川などの河川と合流し東京湾に注ぐ。

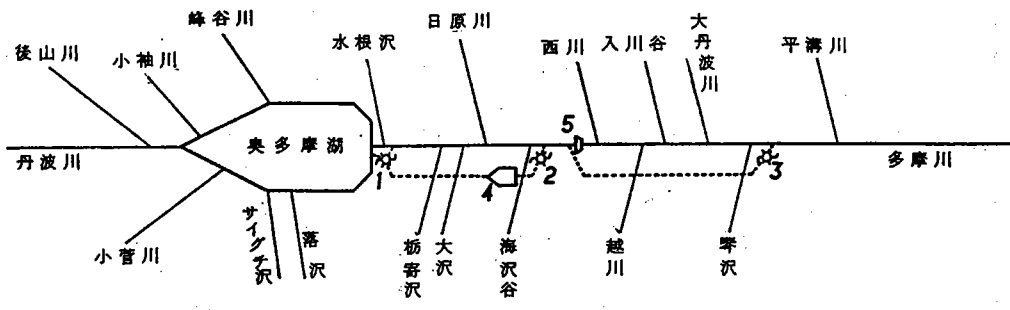
なお、各種の水利施設と支流等との位置関係は、図Ⅲ-2に示す。



図Ⅲ-1 多摩川流域水利施設

表Ⅲ-1 多摩川水系の発電施設

| 諸元 | 発電所名 | | 多摩川第1発電所 | | 多摩川第3発電所 | | 水川発電所 | |
|-------------|---------|----|----------------------------|-----|---------------------------|---------|--------------------------|-------|
| | 使用開始年月日 | 方式 | 昭和32年12月22日 | ダム式 | 昭和38年2月23日 | ダム水路式 | 昭和6年7月8日 | ダム水路式 |
| 出力 | 最大 | | 19,000 kw | | 16,400 kw | | 8,000 kw | |
| | 常時 | | 5,400 kw | | 6,000 kw | | 4,000 kw | |
| 使用水量 | 最大 | | 21.50 m ³ /sec | | 28.00 m ³ /sec | | 9.20 m ³ /sec | |
| | 常時 | | 7.97 m ³ /sec | | 9.62 m ³ /sec | | 5.00 m ³ /sec | |
| 有効落差 | 最大 | | 106.74 m | | 70.55 m | | 107.70 m | |
| | 常時 | | 87.00 m | | 77.92 m | | 101.20 m | |
| 年間可能発生電力量 | | | 62,048,000 kwh | | 64,729,000 kwh | | 44,611,000 kwh | |
| ダム | 名称 | | 小河内ダム(水道局) | | 白丸調整池ダム | | | |
| | 型式 | | 非越流型直線重力式 | | 越流型直線重力式 | | | |
| | 高さ | | 149 m | | 30.3 m | | | |
| | 長さ | | 353 m | | 61.0 m | | | |
| 貯水池又は調整池 | 体積 | | 1,675,680 m ³ | | 13,310 m ³ | | | |
| | 名称 | | 奥多摩湖 | | 白丸調整池 | | 水川調整池 | |
| | 湛水面積 | | 4.25 km ² | | 0.09 km ² | | 0.11 km ² | |
| | 総貯水量 | | 189,100,000 m ³ | | 892,900 m ³ | | 105,156 m ³ | |
| 有効貯水量 | (発電) | | 153,400,000 m ³ | | 300,000 m ³ | | 97,360 m ³ | |
| | 利用水深 | | 56.5 m | | 3.7 m | | 10.4 m | |
| 導水路(圧力トンネル) | | | | | 延長 | 5,085 m | 5,612 m(無圧) | |



図Ⅲ-2 水利施設と支流

- 1. 多摩川第1発電所
- 2. 氷川発電所
- 3. 多摩川第3発電所
- 4. 氷川調整池
- 5. 白丸ダム

IV 多摩川水系における水温の年変化

東京都は、公共用水域における水質汚濁の常時監視のため自動測定機器を用いて、1971年から各種の水質及び水温の測定を実施している¹⁾その測定地点数は、本川及び支流を合計して1977年12月現在で11ヶ所で(表Ⅴ-1)、測定値は、デジカルプリンターで毎時の値として記録されている。

表Ⅴ-1 多摩川水系における水温観測点

| 番号 | 測点名 | 所在地 |
|----|---------|---------------|
| 1 | 和田橋(本流) | 青梅市梅郷3-852 |
| 2 | 羽村(本流) | 羽村町字羽村 466 |
| 3 | 平井川 | 秋川市草花504-1 |
| 4 | 秋川 | 八王子市高月1238-1 |
| 5 | 谷地川 | 八王子市小宮町1003 |
| 6 | 残堀川 | 立川市富士見町3-147 |
| 7 | 南浅川 | 八王子市元本町4-19 |
| 8 | 大栗川 | 多摩市関戸1522 |
| 9 | 野川(1) | 調布市調布ヶ丘3-73-1 |
| 10 | 野川(2) | 世田谷区鎌田町183 |
| 11 | 丸子(本流) | 大田区田園調布3-57 |

1. 本流沿いの水温年変化

多摩川水系における11ヶ所の観測地点のうち本流沿いには、上流から和田橋、羽村、丸子の3地点である。これらの3地点における1975年4月から1977年3月に至る間の水温年変化の実態は表N-2に示す。

表N-2 多摩川本流沿いの水温年変化

| 年次 | 地点名 | 年平均水温(°C) | 年較差(°C) | 最高水温 | | 最低水温 | |
|---------|-----|-----------|---------|--------|-------|--------|-------|
| | | | | 水温(°C) | 起時(月) | 水温(°C) | 起時(月) |
| 1975年4月 | 和田橋 | 10.9 | 8.4 | 14.5 | 8, 9 | 6.1 | 1 |
| } | 羽村 | 12.1 | 13.5 | 18.8 | 4 | 5.3 | 1 |
| | 丸子 | 17.3 | 18.1 | 26.0 | 8 | 7.9 | 1 |
| 1976年3月 | 丸子 | 17.3 | 18.1 | 26.0 | 8 | 7.9 | 1 |
| 1976年4月 | 和田橋 | 10.6 | 9.1 | 14.9 | 8 | 5.8 | 1 |
| } | 羽村 | 11.5 | 12.1 | 17.4 | 8 | 5.3 | 2 |
| | 丸子 | 16.0 | 17.8 | 25.7 | 8 | 7.9 | 2 |
| 1977年3月 | 丸子 | 16.0 | 17.8 | 25.7 | 8 | 7.9 | 2 |
| 1976年1月 | 和田橋 | 10.5 | 8.8 | 14.9 | 8 | 6.1 | 1 |
| } | 羽村 | 11.5 | 12.1 | 17.4 | 8 | 5.3 | 1 |
| | 丸子 | 16.4 | 17.8 | 25.7 | 8 | 7.9 | 1 |

表からもわかるように、年平均水温、最高水温は下流程高い値を示し、年較差も下流程大きな値を示している。地方、最低水温は、羽村地点は上流の和田橋地点より低い値を示している。これは、和田橋から羽村までの約18kmを流下する間に、水面からの冷却が原因であるが、その冷却による温度変化 $\Delta\theta$ は

$$\Delta\theta = \left(\frac{\alpha}{c\rho vD}\right)(\theta^* - \theta_w) \quad (2)$$

で与えられる。ここで、 α は熱伝達係数、 c 、 ρ は水の比熱と密度、 v と D は平均流速と平均水深である。

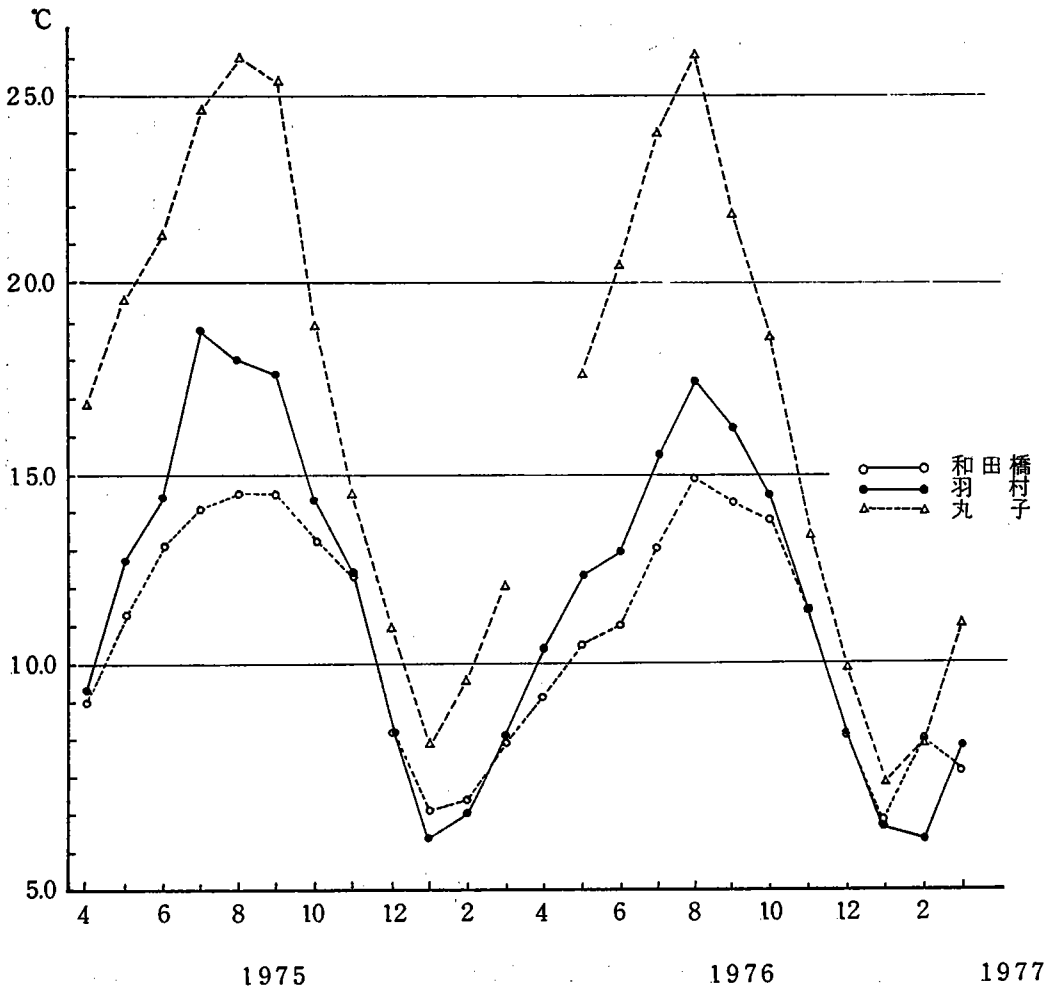
羽村における1月の平均気温を 2°C とすると気温(θ_a)と平衡水温(θ^*)の間の経験式

$$\theta^* = 0.33 + 0.97\theta_a \quad (1\text{月}) \quad (3)$$

から、羽村における平衡水温は、ほぼ 2.3°C となる。この値は、和田橋及び羽村の水温より低く、和田橋から羽村までの18km区間は、冷却過程にあると考えられる。他方、丸子地点の1月の平均気温を 4°C とすると、平衡水温は 4.2°C となる。この値は、羽村及び丸子地点の水温より低い値であるにも拘らず、羽村地点から丸子地点に至る間で水温が上昇している。これは水面における熱収支以外に、支流の流入や家庭などの排水の流入による持ち込み熱量の影響とも考えられる。

次に、和田橋、羽村、丸子の3地点における水温の年変化を図N-1に示す。図からも明らかなように、各地点とも2月頃から水温は上昇し、その上昇率は、下流の地点程大きい。そして、丸子にお

図Ⅳ-1 多摩川水系における水温の年変化



表N-3 多摩川水系における各地点の水温年変化

| 年次 | 河川名 | 年平均 水温(℃) | 水温 年較差(℃) | 最高水温 | | 最低水温 | |
|-------------------------|-------|--------------|--------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | 水温(℃) | 起時(月) | 水温(℃) | 起時(月) |
| 1975年4月) 1976年3月 | 平井川 | 14.7 | 17.8 | 23.7 | 8 | 5.9 | 1 |
| | 秋川 | 14.0 | 20.0 | 23.4 | 8 | 3.4 | 1 |
| | 谷地川 | 16.7 | 15.6 | 24.8 | 8 | 9.2 | 1 |
| | 残堀川 | 17.5 | 17.1 | 26.3 | 8 | 9.2 | 1 |
| | 南浅川 | | 16.4 | 23.6 | 8 | 7.2 | 1 |
| | 大栗川 | | | | | | |
| | 野川(1) | 16.7 | 13.8 | 23.8 | 8 | 10.0 | 1 |
| | 野川(2) | 17.6 | 17.2 | 26.7 | 8 | 9.5 | 1 |
| 1976年4月) 1977年3月 | 平井川 | 13.8 | 18.2 | 23.1 | 8 | 4.9 | 1 |
| | 秋川 | 13.0 | 21.1 | 24.2 | 8 | 3.1 | 1 |
| | 谷地川 | 15.9 | 15.0 | 24.0 | 8 | 9.0 | 1 |
| | 残堀川 | 17.1 | 16.3 | 25.8 | 8 | 9.5 | 1 |
| | 南浅川 | 14.3 | 17.0 | 23.3 | 8 | 6.3 | 1 |
| | 大栗川 | | 20.3 | 24.9 | 8 | 4.6 | 1 |
| | 野川(1) | 16.0 | 14.4 | 23.3 | 8 | 8.9 | 1 |
| | 野川(2) | 16.5 | 16.6 | 24.6 | 8 | 8.0 | 2 |

ける8月の水温は、丸子における月平均気温を26℃とすると、気温(θ_a)と平衡水温(θ^*)との間の経験式

$$\theta^* = 13.2 + 0.61\theta_a \quad (8月) \quad (4)$$

から求められる平衡水温29.1℃に近い値を示す。

冷却期に入ると3地点とも、水温が急激に低下し、地点間の差も小さくなる。特に、和田橋と羽村における水温の差は小さくなり、11月から12月には殆んど等しい値を示す。

そして、1月から2月になると、先にも述べたように羽村の水温が上流の和田橋より低い値を示すようになる。

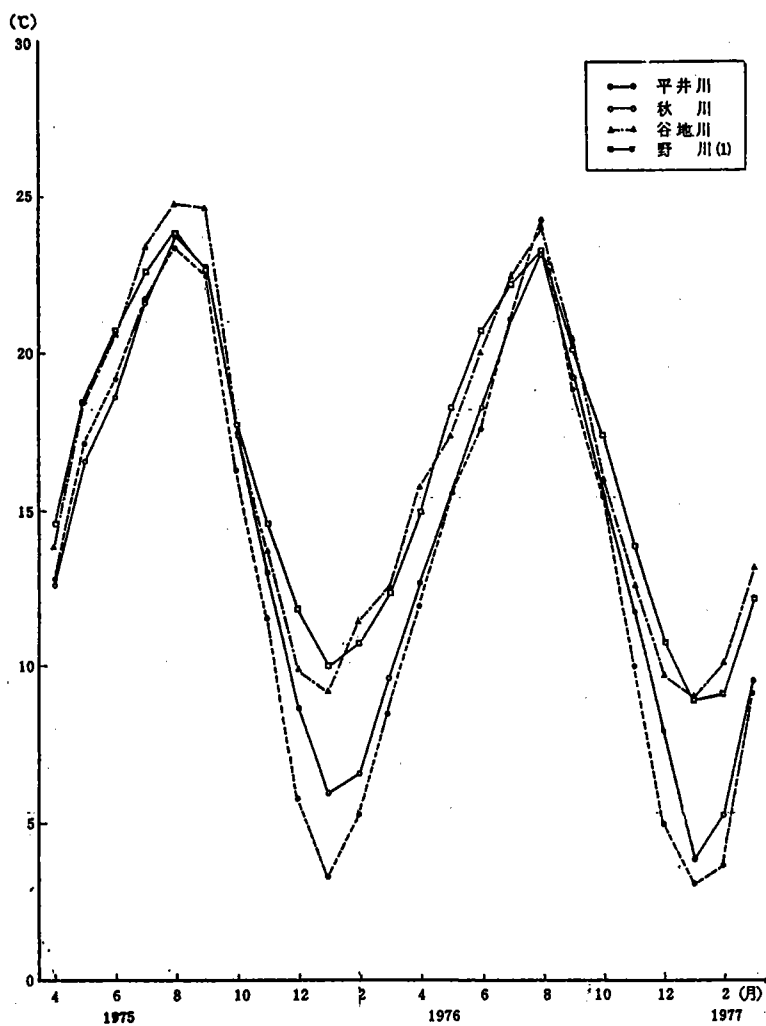
2. 支流の水温年変化

東京都公害局監視部の資料から¹⁷⁾8つの支流(表N-3)の水温年変化の状況を見ると、流域内に占める都市化された流域の割合の大きい野川、残堀川などが高い水温を示している。なお、秋川は8河川の中で、最も年平均水温が低いにも拘らず、水温の年較差は最も大きい。これは、冬季の最低水温が低い

ため、平井川も同様なことがいえる。また、谷地川は流域面積が小さく、細長い形状のため年平均水温は高い値を示し、水温年較差も大きい。

図Ⅳ-2は、4つの支流の水温年変化の様子を示す。図からもわかるように、平井川と秋川は類似の変化型を示し、谷地川と野川(1)は同様な変化型である。そして、この両変化型の差異は、冬季の水温で著しい。すなわち、支流の水温の年変化は、すべての支流において位相は等しく、最高水温は8月、最低水温は1月に現れるが、年平均水温が高く年較差の小さい谷地川、残堀川、野川のグループと年平均水温が低く、年較差の大きい平井川、秋川のグループに分けられる。

図Ⅳ-2 多摩川水系における各地点の水温年変化



V 多摩川水系における水温の日変化

一般に、河川は上流から下流へ水温日変化の発生域、保存域、消滅域に区分することが出来る。¹⁸⁾

河川の上流、すなわち低次の水流では、水量も少なく、水深も浅いので、気象や地形の影響を敏感に反映し、その水流に特有な水温日変化を形成する。しかし、これら各水流に特有な個性のある水温日変化も、それぞれの水流が合流する過程で、別の水温日変化に変わっていく。ところが、流量が増し、水深が深くなると気象や地形の影響に対する反応も緩慢になり、水温の日変化は保存され、そのまま下流へと伝えられる。そして、さらに流下すると、水温日変化は流れの方向に拡散し水温の日変化は小さくなり、消滅への過程をたどる。

しかし、河川に貯水池などの構造物があるときには、先にも述べたように、水温の日変化は、それに吸収されてしまう。

1. 多摩川に沿う水温の日変化

多摩川の上流から下流に至る間の、各地点における水温日変化の様子をみるために、図V-1に記入された7地点の水温日変化を図V-2に示す。

図からも明らかな様に、7地点の中で、白丸と丸子における水温日変化の様子は、他の5地点の水温日変化と著しく違った変化を示している。

お祭地点のA、B、C及び和田橋、羽村の水温日変化をみると、29日の早朝から次第に水温は上昇し、お祭地点のAは14時に、BとCでは15時に最高水温を示し、その後Aの水温は、ほぼ同じ値を21時まで継続するが、B、Cの両地点の水温は、次第に低下し、20時に極小値を示している。そして、A、B、Cの3地点とも、その後水温は上昇している。

他方、和田橋の水温は13時30分に最高になり、それ以降、水温は低下し、21時30分から再び上昇を始めている。羽村の水温は、16時30分に最高を示し、以後低下をし、7時30分に最低となり、それから再び上昇を始めている。

白丸の水温については、早朝9時から10時の間に約1℃、22時から23時の間には急激に約4℃の変化を示す他は、ほぼ一様で変化が小さい。

次に、丸子における水温は、13時30分頃に最低を示し、以後、翌朝まで上昇を続け、この間の変化幅は約1.5℃と小さく、下流の特性がみられる。

なお、29日9時から30日8時までの各地点の平均水温を求めると次のような値が得られる。

| | | | | |
|----|---|------|-----|------|
| お祭 | A | 2.8℃ | 和田橋 | 7.4℃ |
| | B | 2.5 | 羽村 | 6.5 |
| | C | 2.5 | 丸子 | 8.1 |
| 白丸 | | 8.3 | | |

以上は、多摩川に沿う7地点の水温日変化の概況であるが、白丸を除く他の6地点では、29日夜半から30日にかけて一般には水温が低下する夜間であるにも拘らず水温の上昇がみられる。これは、

图 V-1 多摩川河川水温日变化定点点観測地点
 1977年12月29~30日

- 地点番号と地点名
- 1. お祭
 - 2. 麦山
 - 3. 白丸
 - 4. 和田橋
 - 5. 羽村
 - 6. 丸子

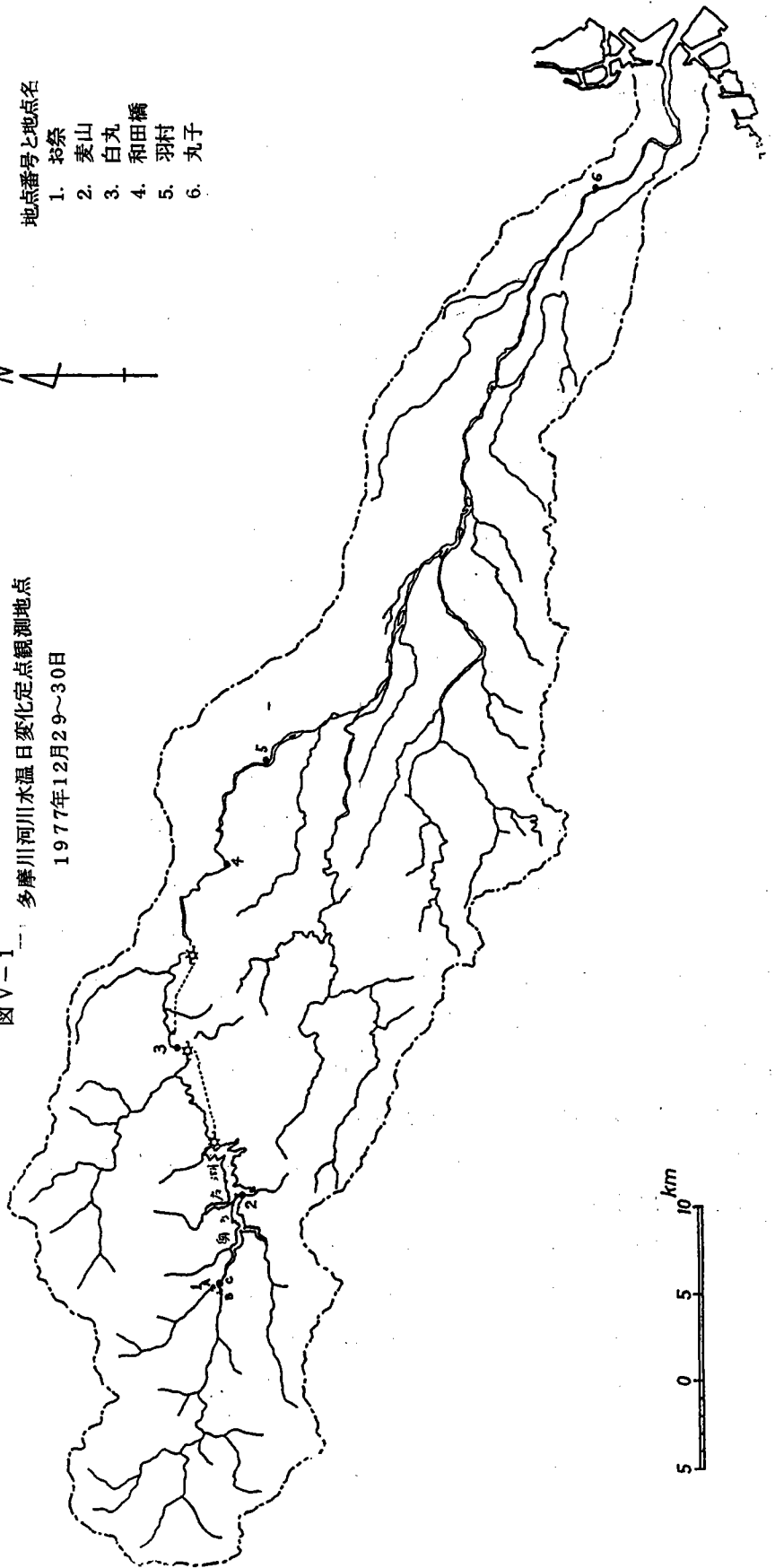
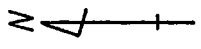
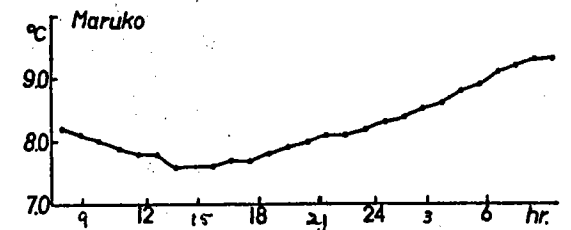
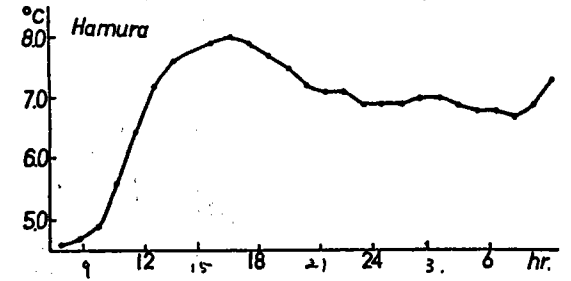
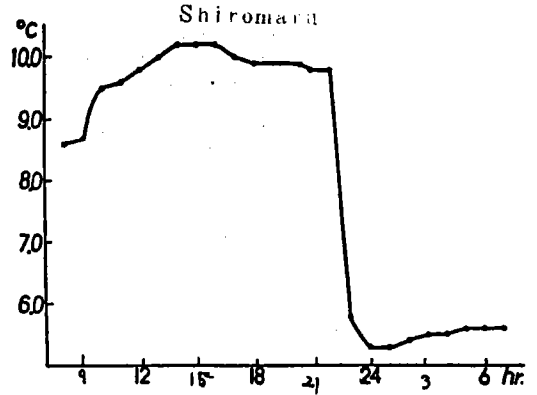
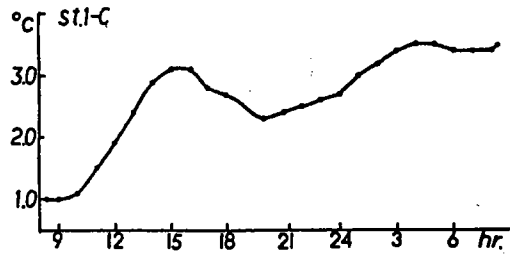
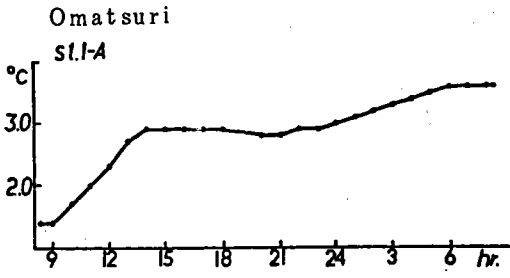
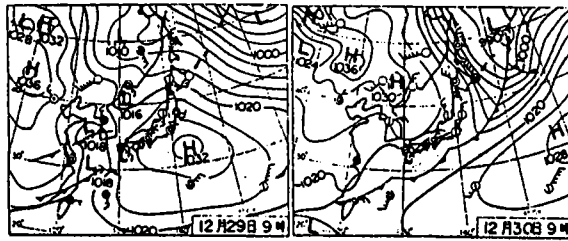


図 V-2 多摩川に沿う水温の日変化



図V-3 天気図と天気概況

(1977年12月29日~30日)



29日(木)小笠原は好天

けさは北陸も含め本州は○だったが
午後は東日本を除いて曇ってきた。
東京はmin0.3°冷えたが日中は南風
強まりmax15.1°。一方、父島は東風
max19.9°アグハチェウ舞う好天。

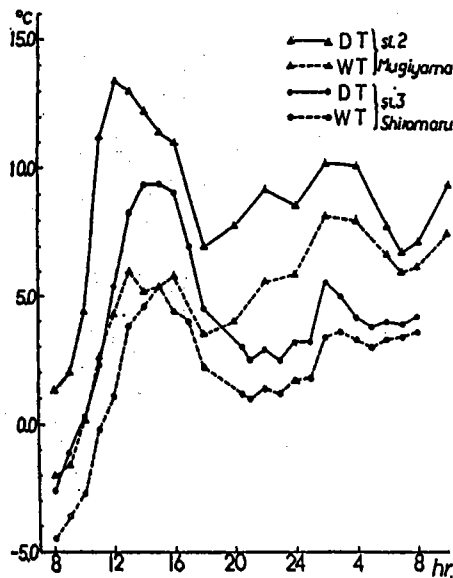
30日(金)バカ陽気の歳末

朱明に谷が通り全国的に異常高温。
札幌min0.7°(+9.5)⊙3.8°(+4.6)
鹿児島 min12.9°+(10.1)●16.2°
東京けさ6.6°●日中⊙max17.8°
小笠原は微雨風⊙22°トンボが飛ぶ。

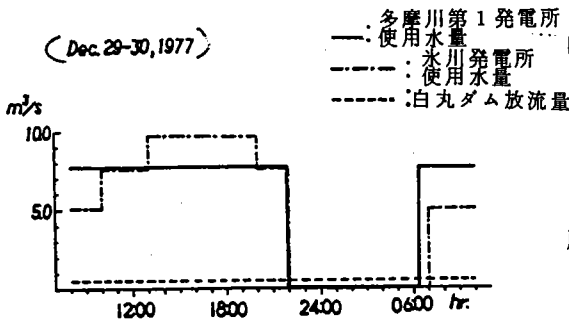
図V-3からもわかるように、29日昼過ぎから全国的に異常高温に見舞れたためと考えられる。図V-4は、麦山と白丸の両地点で観測した気温(乾球温度DT、湿球温度WT)の時間変化を示す。この結果からも明らかなように、上流の麦山では、18時頃から、下流の白丸では21時頃から、乾球温度も湿球温度も上昇している。

次に、前述した白丸地点の水温日変化について、発電及び奥多摩湖内の水温との関係について調べてみると、白丸地点の水温が、これらと密接な関係にあることがわかる。V-5は、多摩川第1発電所と氷川発電所の使用水量及び白丸ダム放流量の時間変化を示したものである。これによると、両発電所の発電が22時から翌朝6時および7時まで中止していることがわかる。

図V-4 気温の時間変化(1977年12月29日~30日)



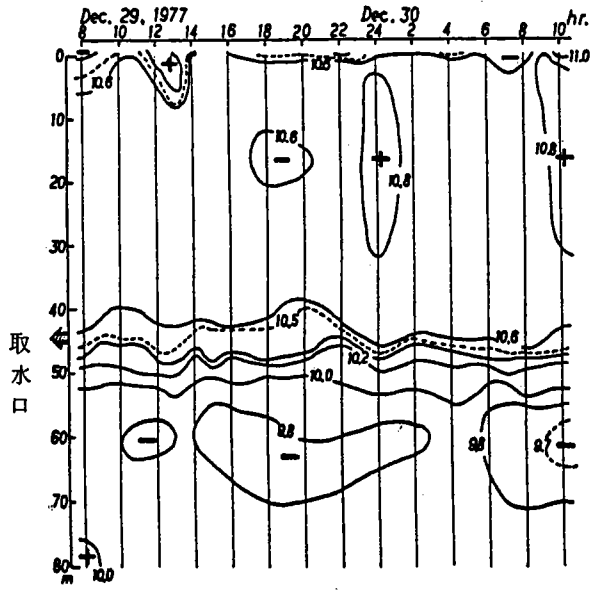
図V-5 各発電所の使用水量



他方、図V-6は麦山で観測された奥多摩湖内の水温のアイソプレスである。

そして、取水口の位置の水温は、ほぼ10～10.5℃を示している。白丸地点の日中の水温が、ほぼ10℃で、この水温は多摩川第1発電所及び水川発電所の発電による奥多摩湖の影響であることが明らかである。

図V-6 奥多摩湖内の水温時間変化(麦山)
1977年12月29日～30日



2. 上流(発生域)における水温の日変化

水温の日変化は、日平均水温、水温日較差、位相の3つの特徴量で代表させることができる。そして、これらの特徴はその水温観測地点までの平均水流長とともに変化する。

一般に、水温日変化の発生域においては、3～4月頃から8月頃までは、平均水流長とともに日平均水温は高くなり、水温日較差は大きくなる。他方、9月頃から2～3月頃までは、日平均水温は低下し、水温日較差は大きくなる。

なお、最高及び最低水温の出現時刻(位相)は、平均水流長が短い場合は地形の影響を強く受けてまちまちであるが、平均水流長が増大するに従って一定の時刻に収斂する性質を持っている。

今回の調査では、位相の調査は出来なかったが、日平均水温と水温日較差については、最高及び最低温度計を河床にセットして実施した。図V-7、V-8は、これらの結果を示す。

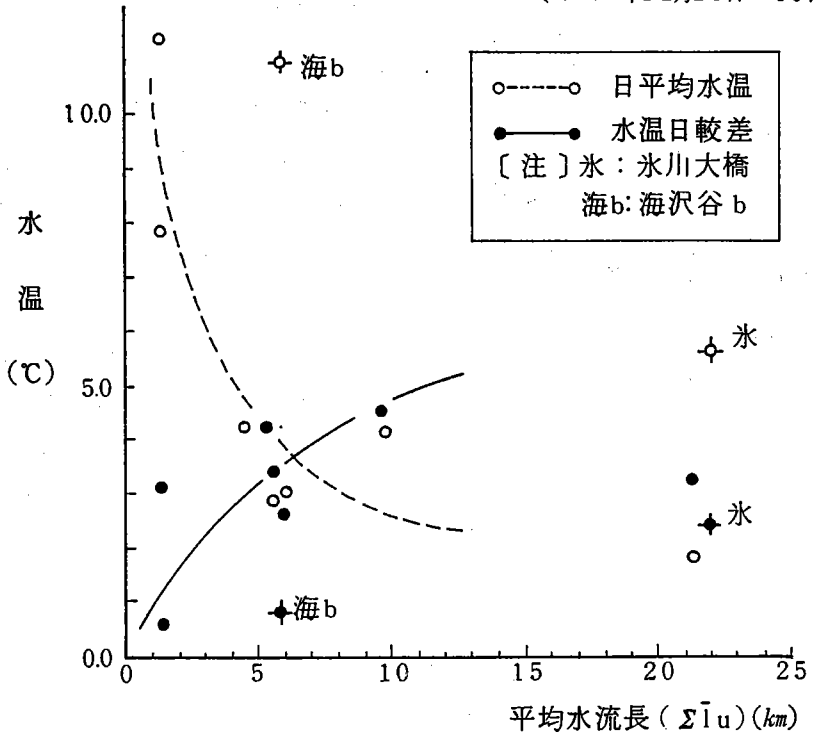
これら2回の観測は、ともに冷却期の場合で、日平均水温は、平均水流長とともに低下し、水温日較差は増大している。ただし、図中の水、海bの2地点については、他の7地点の傾向とは異っているが、その原因については、不明である。しかし、地点海bの場合には、図II-4から考えて、流出した地下水が伏流しながら流下しているためと推察される。

さらに、上流域における水温日変化のもう一つの特徴は、支流が本流に流入する場合にも、本流流量(Qm)に対し、流入する支流の流量(Qt)が、 $Q_m \geq Q_t$ となるのが少ないので、合流後の水温(θ_w)は

$$\theta_w = \frac{\theta_m Q_m + \theta_t Q_t}{Q_m + Q_t} \quad (5)$$

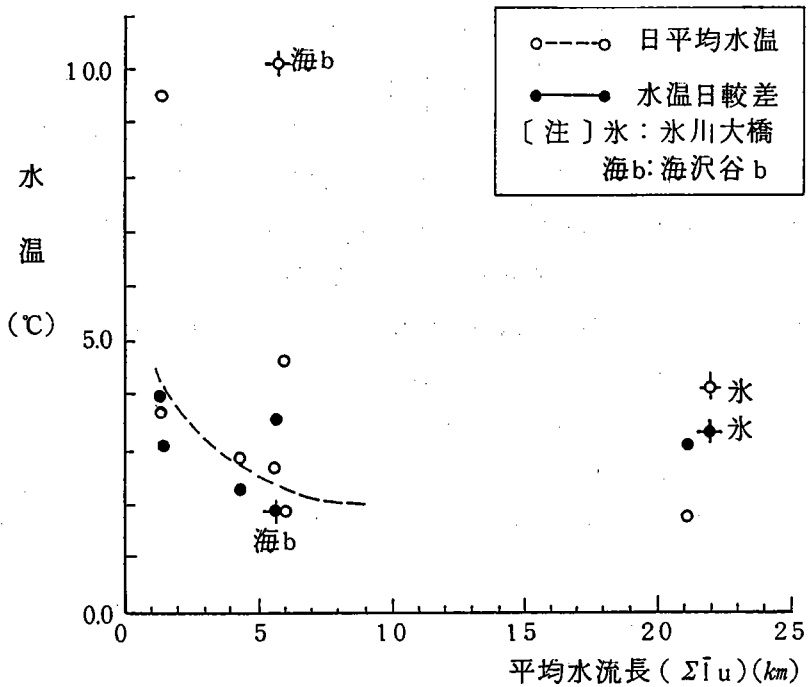
図V-7 平均水流長と日平均水温・水温日較差の関係

(1977年12月29日~30日)



図V-8 平均水流長と日平均水温・水温日較差の関係

(1978年2月26日~27日)



で表わされることである。

図 V-9 は、奥多摩湖の上流における丹波とお祭地点の水温日変化を示す。図中の丹波、お祭 B、C が本流沿いで、お祭 A が支流である。これら 3 地点における水温は表 V-1 に示す通りである。なお、丹波からお祭 B までの流下距離は約 5.2 km である。この間、日平均水温は、1.0℃ 上昇を示すが、

表 V-1 支流の流入と水温日変化

| 地点名 | 日平均水温 (℃) | 最高水温 | | 最低水温 | |
|------|--------------|-------|----------------|-------|----------------|
| | | 水温(℃) | 起 時 | 水温(℃) | 起 時 |
| 丹 波 | 0.2 | 2.4 | 13:30 14:30 | -1.0 | 06:00 07:00 |
| お祭 A | 0.8 | 1.7 | 14:00 16:00 | 0.0 | 06:00 08:00 |
| 〃 B | 1.2 | 3.5 | 15:00 | 0.0 | 06:00 08:00 |
| 〃 C | 1.1 | 3.1 | 15:00 | 0.0 | 08:00 |

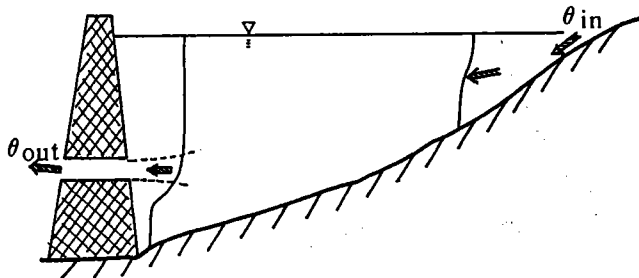
最高及び最低水温の起時は殆んど同じで差がない。

しかし、お祭で、支流 A が本流 B と合流することで、C の合流後水温は、日平均値及び最高値で、ともに低下し、同一の値を示す最低水温は、もちろん合流前後で変化がない。さらに、最高及び最低水温の起時も、合流前後ではほぼ同じである。

3. 河川水温に及ぼす奥多摩湖の影響とその影響の消滅

河川水温に及ぼす貯水池の影響は、図 V-9 に示すように貯水池内の水温成層と流入水温と取水水温との関係によって決まる。

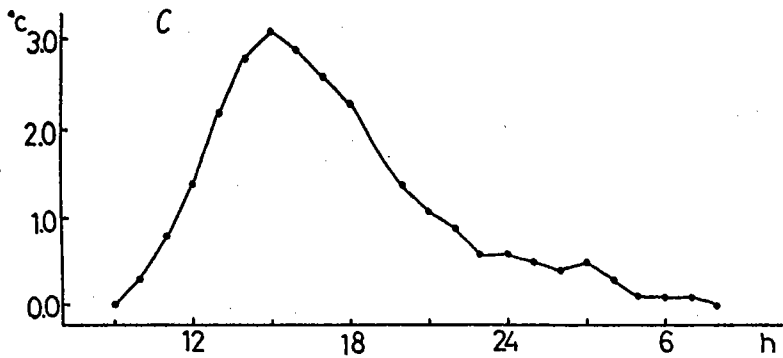
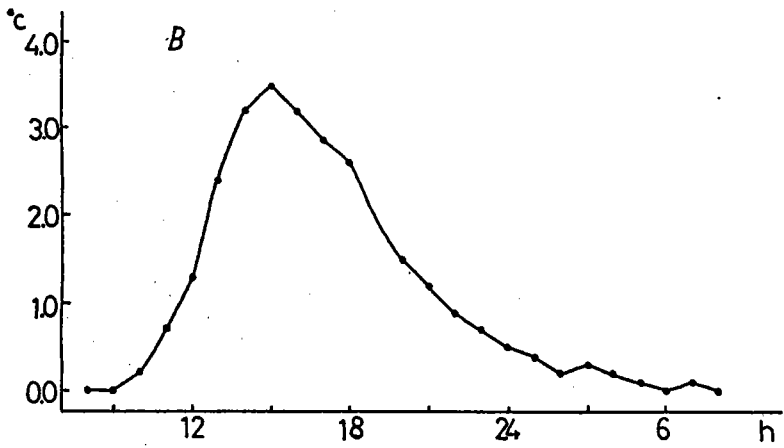
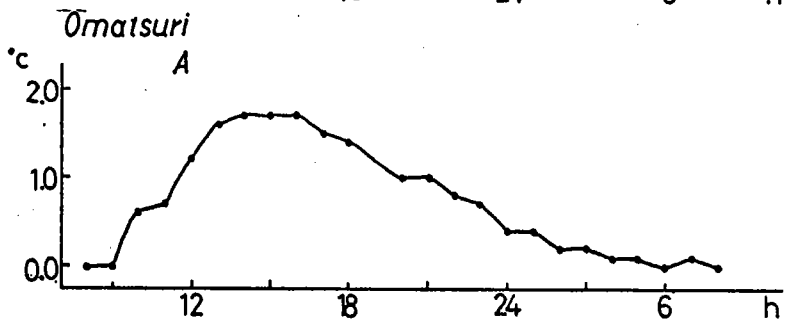
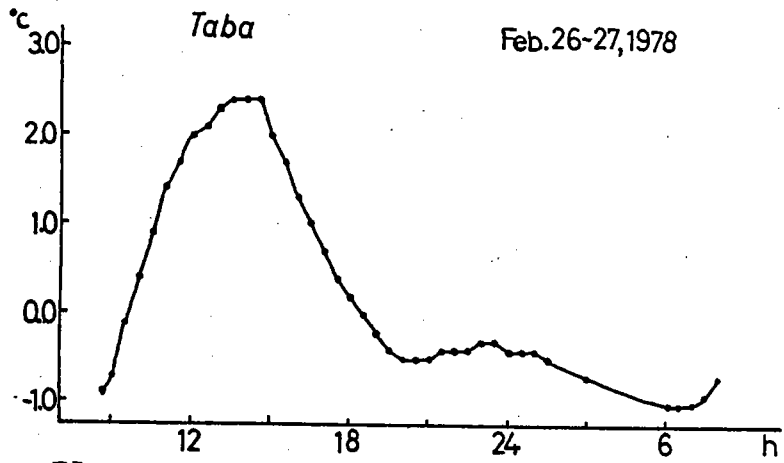
図 V-10 貯水池の水温成層と流入水温と取水水温の関係



流入水温 θ_{in} は、先にも示したように日変化をするので、流入水はそのときどきの自身の水温と同じ値を持つ貯水池内の深さに流入する。他方、取水水温は、取水口の深さの水温と、ほぼ同一の値となり、流入水温とは関係のない水温となる。その上、取水口が深い場合には、その深さの貯水池内水温は、日変化がないので、取水水温は、日較差が零で、水温日変化は、再びここから発生する訳である。

図 V-11 は、奥多摩湖下流域で、3つの発電所を含む区間で水温観測を実施した地点を示す。観測は 1978年9月10日～11日、1979年1月24日～25日、1979年3月28日～29

図 V-9 支流の流入による水温の変化



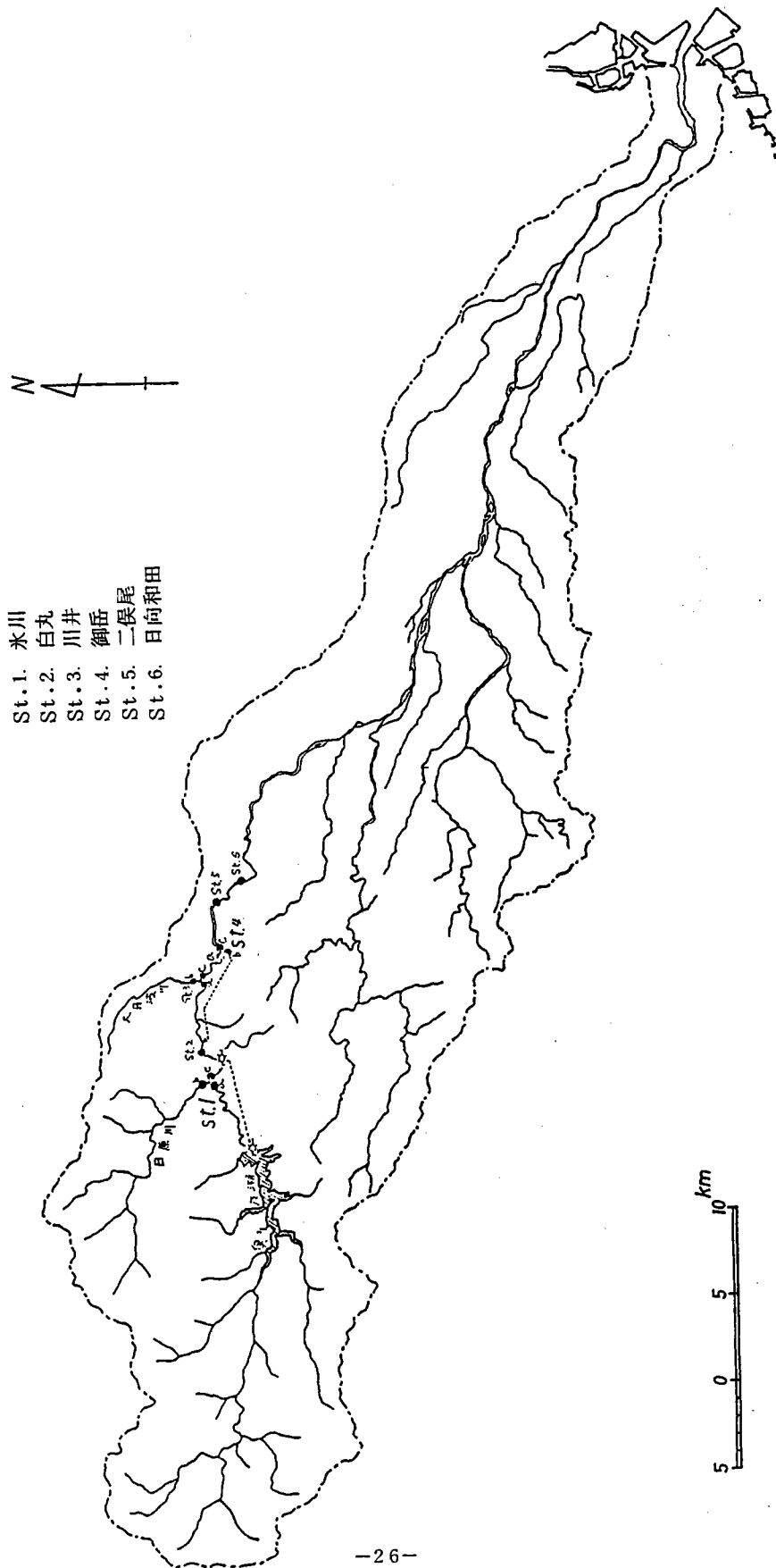


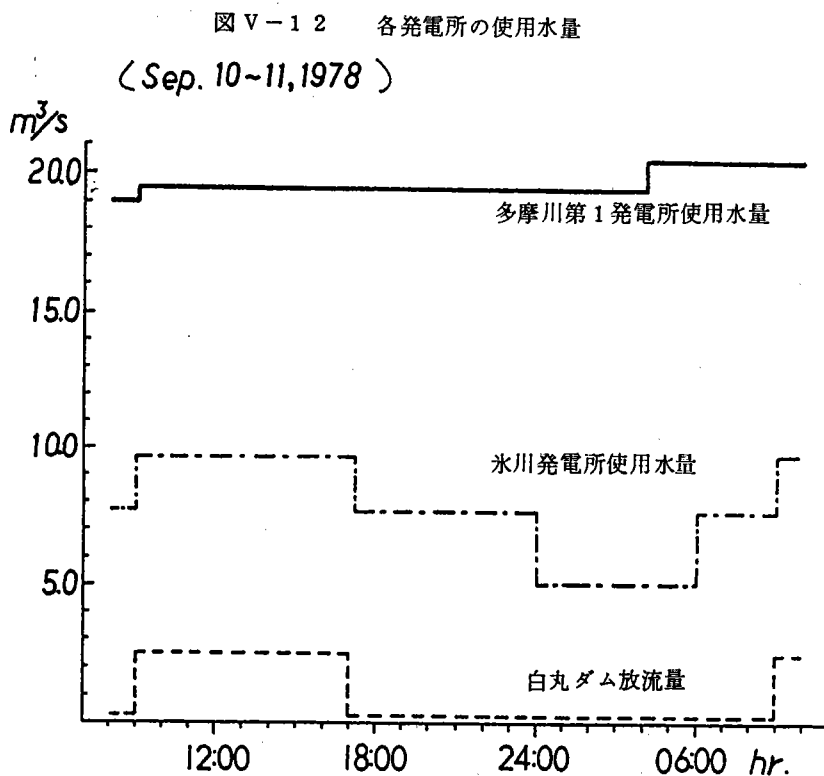
図 V-1-1 中流における水温観測点

日の3回である。

1) 1978年9月10日～11日の場合

この間の多摩川第1発電所、氷川発電所の使用水量は、図V-12に示し、図V-13-1及び図V-13-2は、図V-11に示す各地点の水溫は変化を示す。

これらの水溫日変化の中で、特に日向和田(St 6)の水溫が、13時～17時の間に、ほぼ同一の値を示し、頭打ち現象がみられるのは、多摩川第1発電所、氷川発電所、多摩川第3発電所を通して、奥多摩湖の影響が現われているためと考えられる。それは、各発電所の使用水量が、残流量に比べて多く、御岳地点の残流水水溫(St.4-a)にみられるような典型的な水溫日変化も、



水溫変化の小さい多摩川第3発電所からの放流水と合流することによって消されてしまうためと考えられる。その上、御岳地点から約7.2km下流の日向和田まで流下しても、なお十分には水溫の日変化が復元していないことがわかる。

図 V-13-1 各地点の水溫日変化

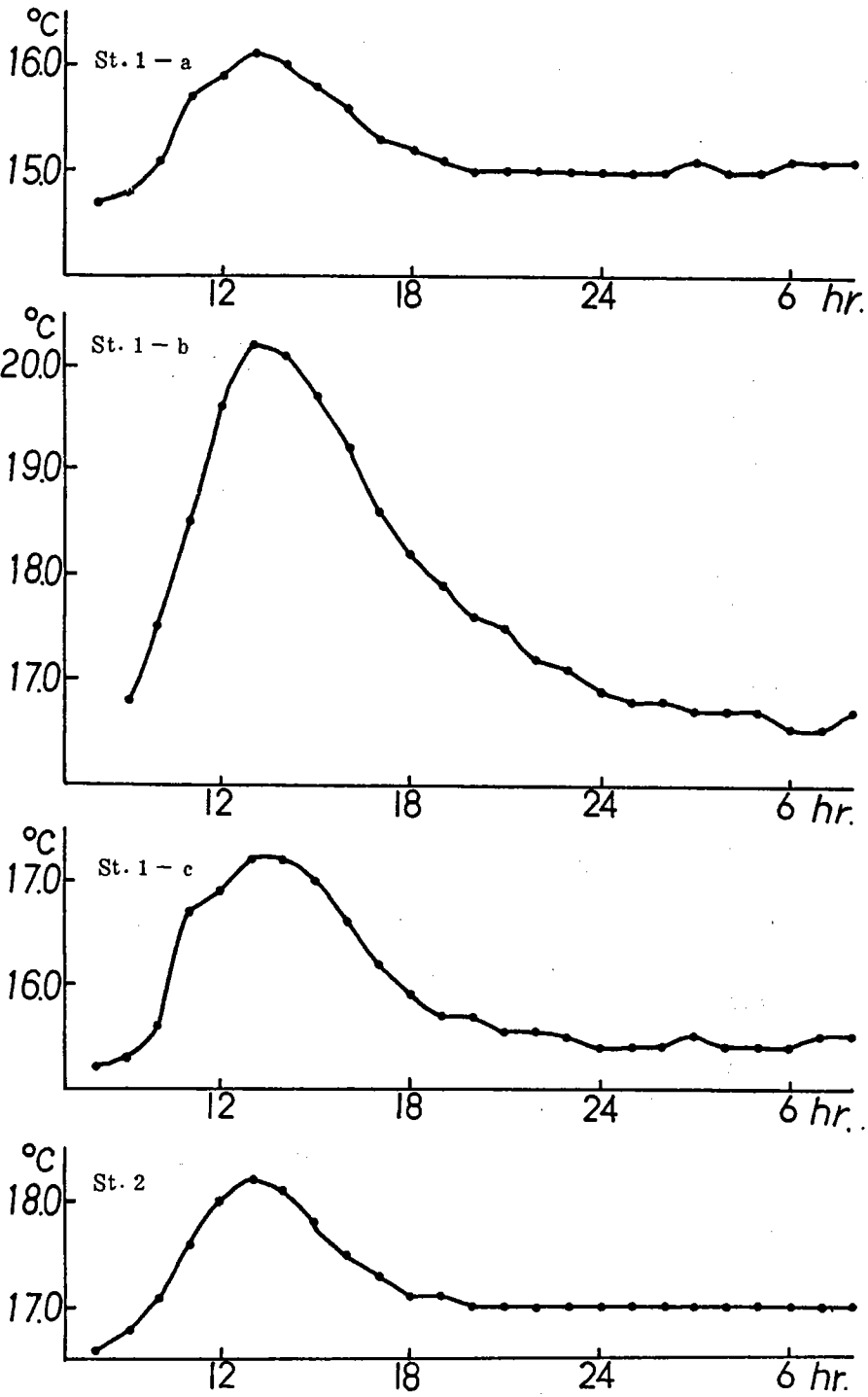
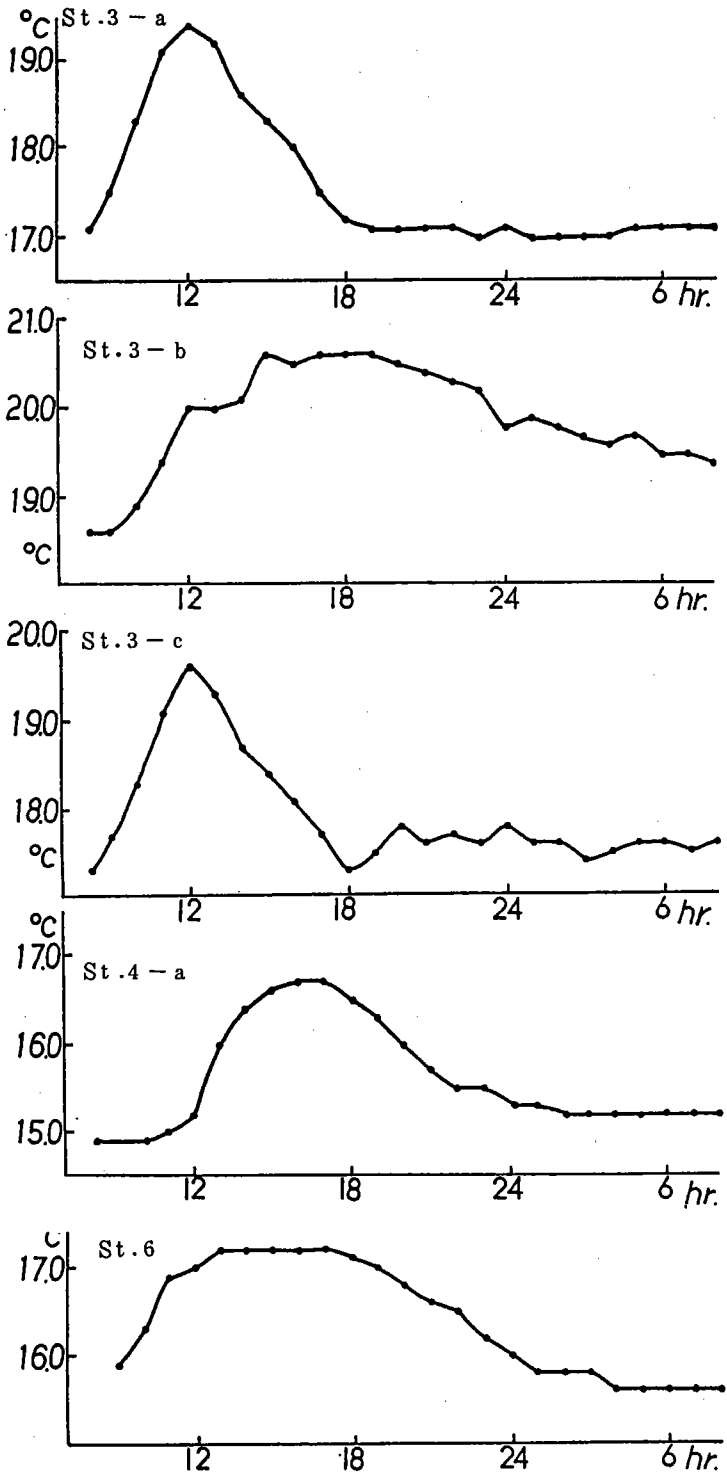


図 V-13-2 各地点の水温日変化



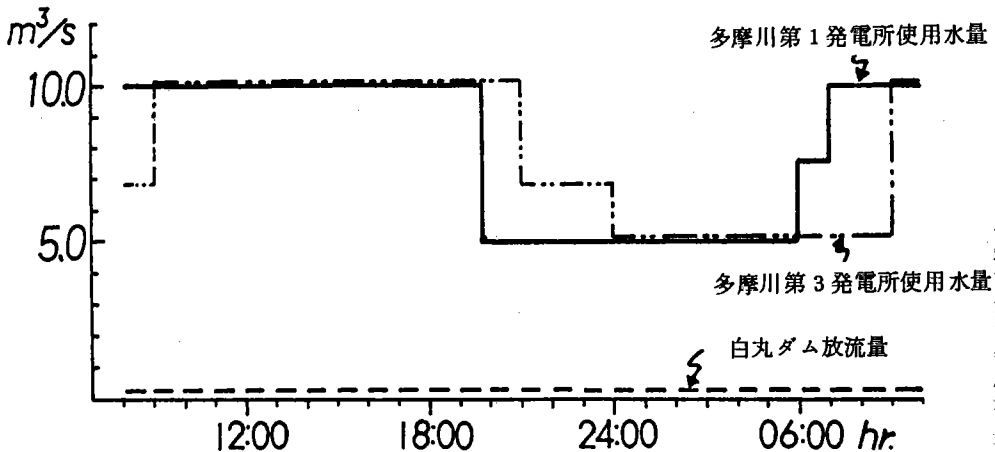
2) 1979年1月24日～25日の場合

この日の観測は、多摩川第3発電所を間において、上流の氷川（St.1-a、b、c）と御岳地点（St.4-a、b、c）の6地点で水温の日変化を調べた。氷川（St.1-c）から氷川発電所放水口までは約1.5 Km、この放水口から多摩川第3発電所取水口までは約1.8 Km、ここから御岳（St.4-a）までは約7.2 Kmの流下距離である。

氷川地点における本流（St.1-a）と支流の日原川（St.1-b）及びこれらの合流後（St.1-c）の水温日変化を図V-15-1と図V-15-2に示す。

図V-14 各発電所の使用水量

(Jan. 24~25, 1979)



これらの水温日変化のうち、上流の氷川（St.1-c）から下流の御岳（St.4-a）に至る間に、水温日変化の様子が大きな違いをみせている。すなわち、St.1-cの水温は6～7℃の間を変化するのに対し、St.4-aでは2～4.5℃の間を変化する。すなわち、水温が低下し、水温日較差が大きくなっている。これは、St.1-cが、氷川発電所放水口の上流にあり、発電所及び奥多摩湖の影響をあまり受けないのに対し、St.4-aは、多摩川第3発電所取水口直上流に位置し、流量の少ない残流が、取水口から約7.2 Kmを流下する間に、この間の熱収支の影響を受けて、水温を低下させるとともに水温日較差を大きくさせるものと考えられる。

さらに、御岳地点の残流水温は、上述のように、水温日較差が大きく、水温も低いのに対し、多摩川第3発電所放水口の水温は図V-14に示す使用水量の時間変化に対応し変化している。すなわち、使用水量が増える9時頃から次第に水温を低下させ、使用水量が7 m³/secになった21時から翌朝まで、ほぼ一定の値を示している。そして、合流後のSt.4-cにおける水温は、残流水温と放流水温の合成された水温を示す。

図 V-15-1 各地点の水温日変化

st. 1

(Jan. 24~25, 1979)

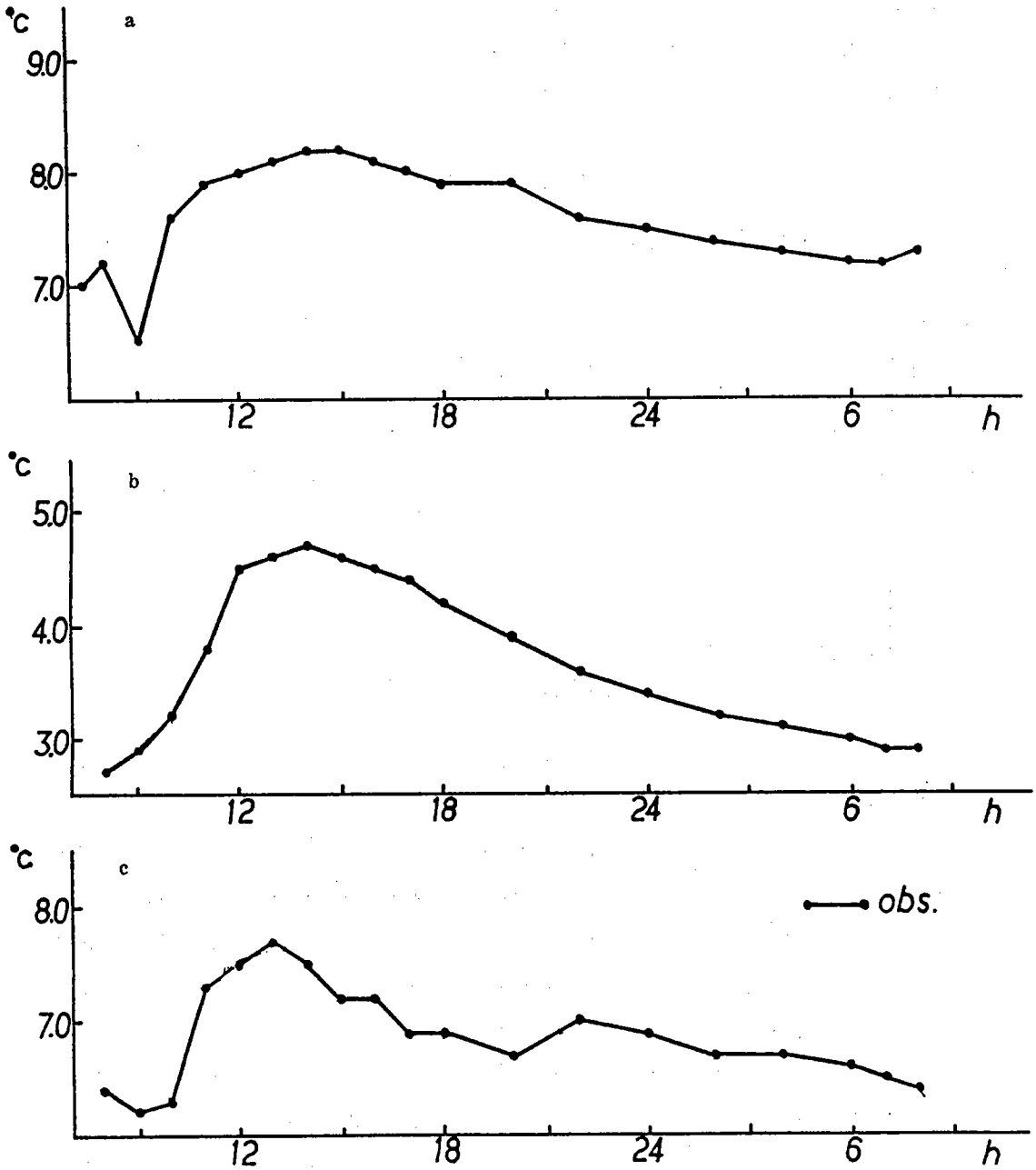
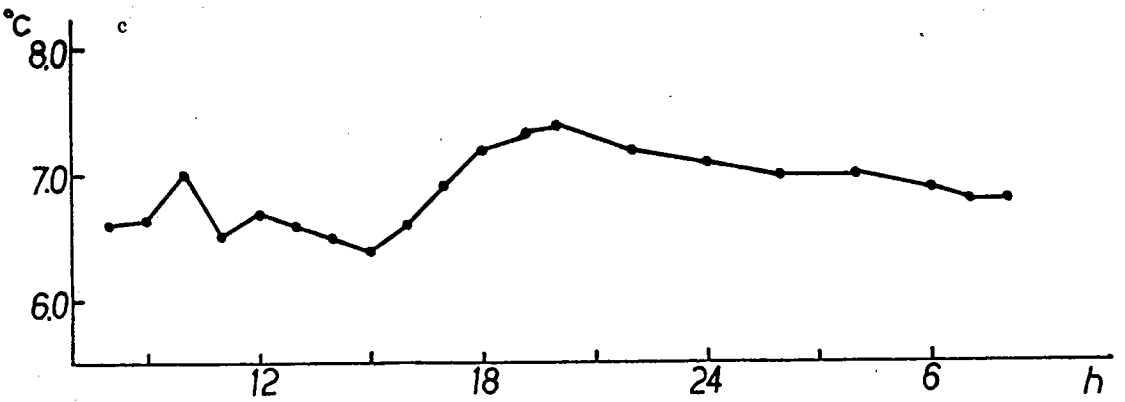
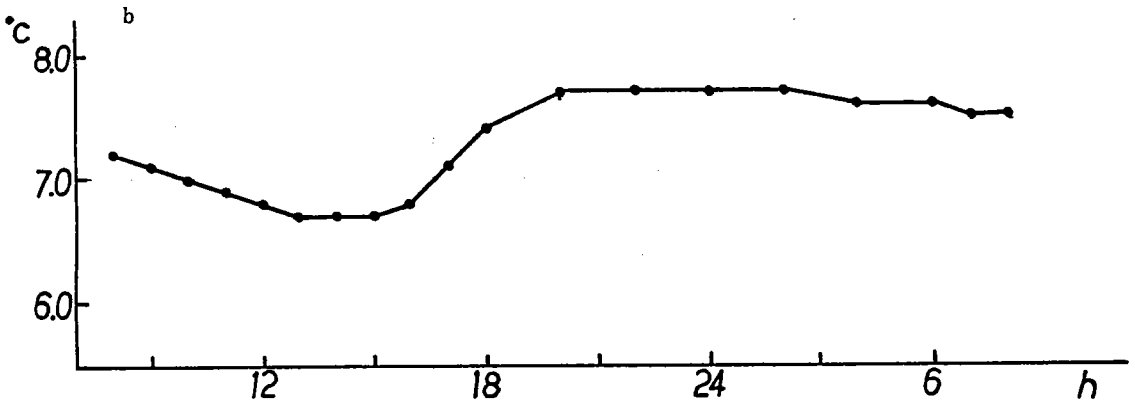
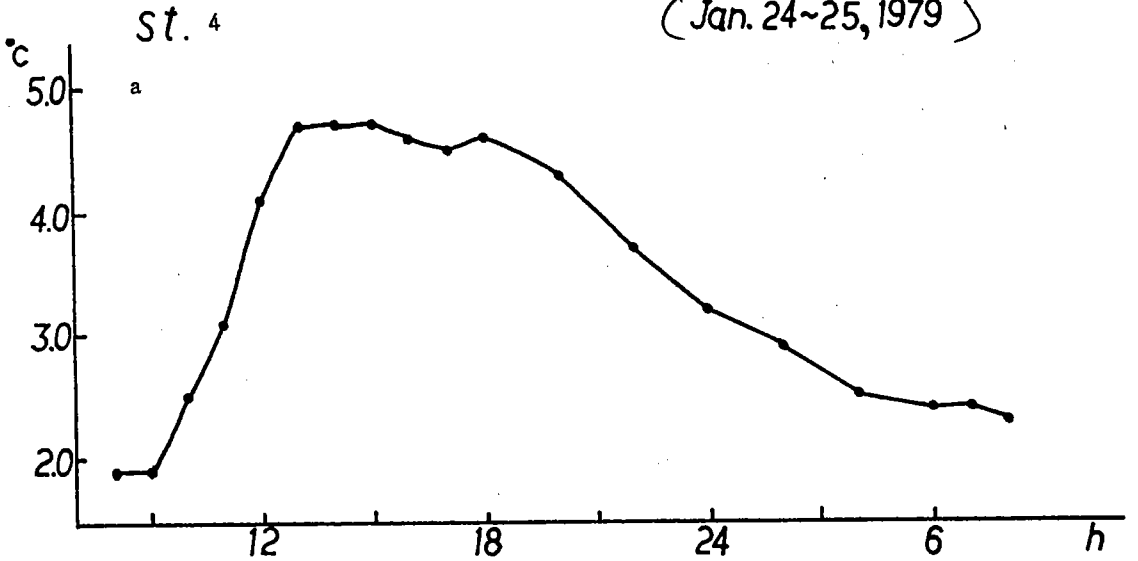


図 V-15-2 各地点の水温日変化

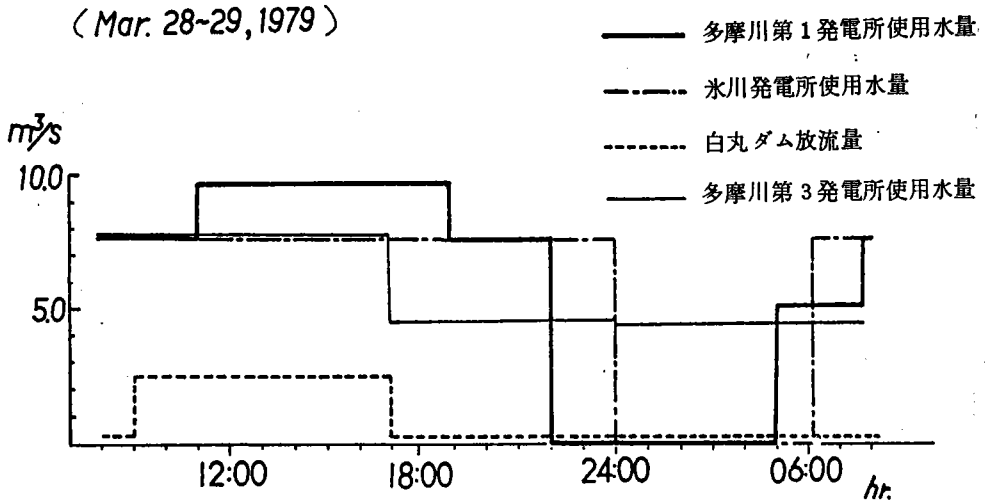
(Jan. 24~25, 1979)



3) 1979年3月28日～29日の場合

この日の観測は、図V-11に示す御岳(St. 4-a、b、c)及び二俣尾(St. 5)の4地点で行った。御岳の残流水水温(St. 4-a)は、28日の14時に最高水温を示し、翌29日の7時の最低水温まで徐々に低下し、典型的な水温日変化が現われている。他方、多摩川第3発電所放水口の水温は、日較差が小さく、奥多摩湖の影響が明らかである。そして、これらの水温が合成さ

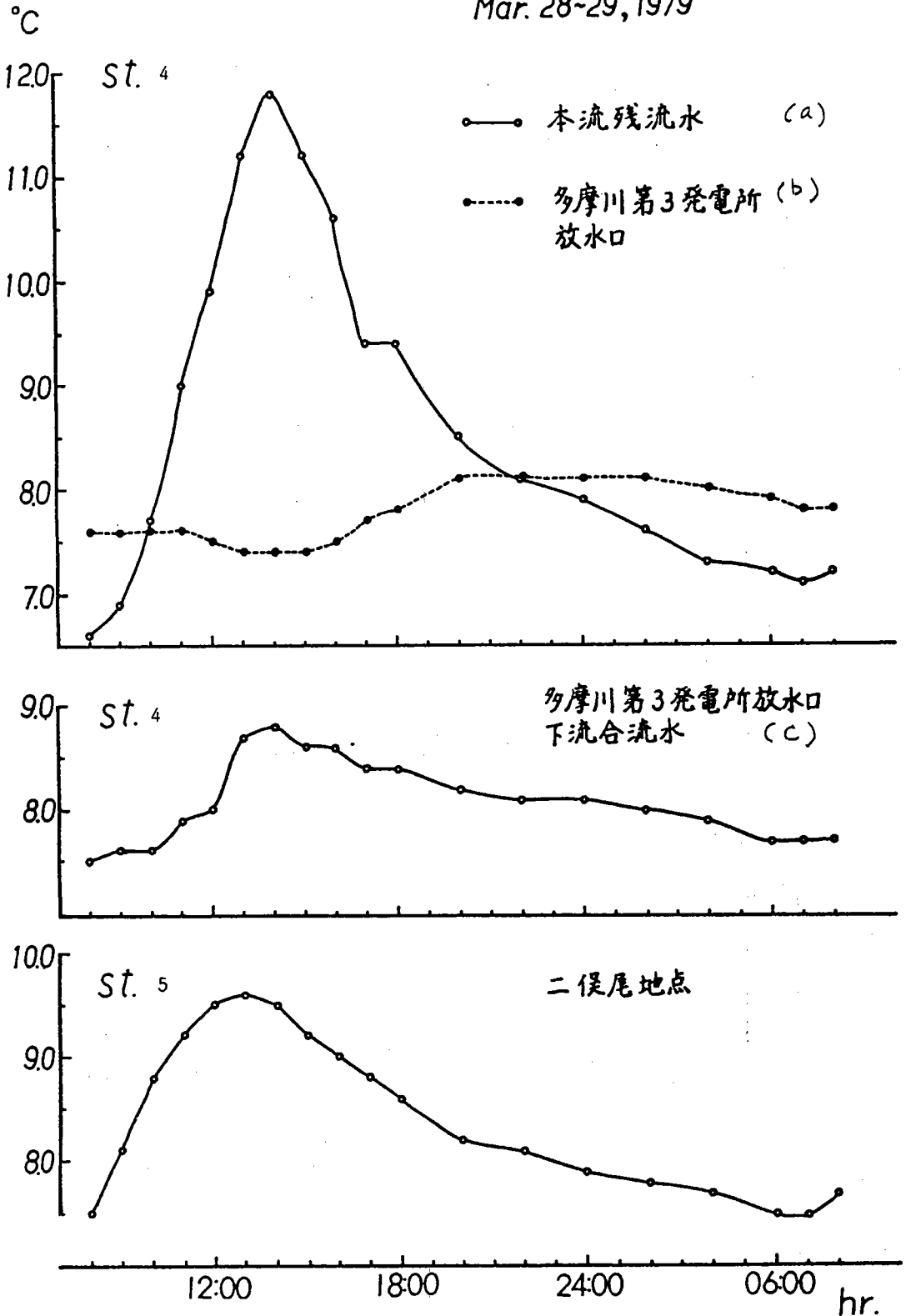
図V-16 各発電所の使用水量



れ、合流後のSt. 4-cにおける水温日変化となっている。合流後の水温の、日変化の位相は、残流水水温の位相とほぼ同じであるが、水温日較差は、残流水水温のその約4分の1に減少している。しかし、このSt. 4-c地点から約3.3Km下流の二俣尾地点では、再び、水温日較差も大きくなり、最高水温の起時もSt. 4-cの14時より1時間早い13時である。このようなことから、奥多摩湖の影響を受けたSt. 4-cの水温は、約3.3Km流下する間に、復元したものと考えられる。

図 V-17 各地点の水溫日変化

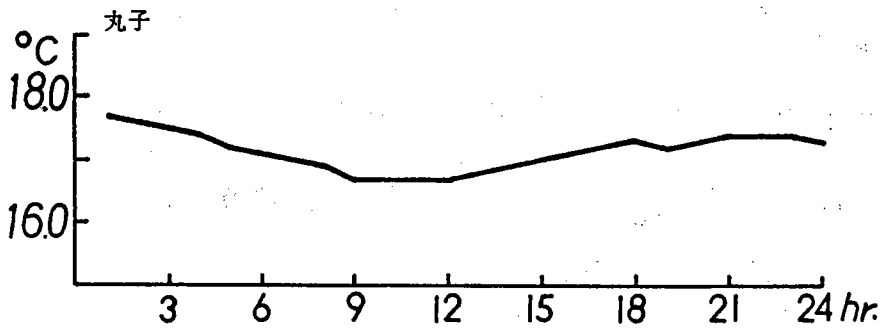
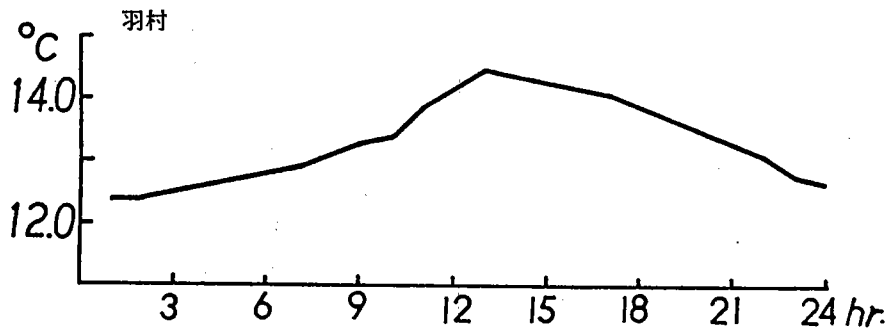
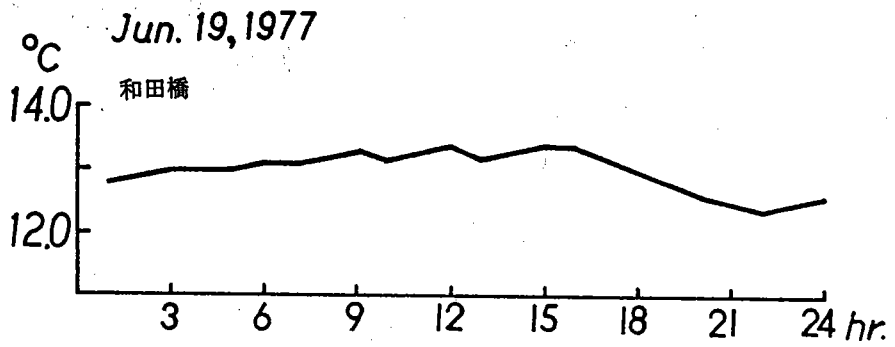
Mar. 28-29, 1979



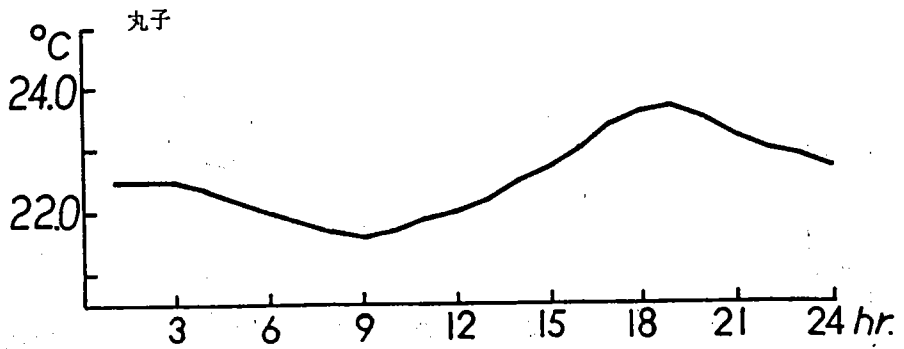
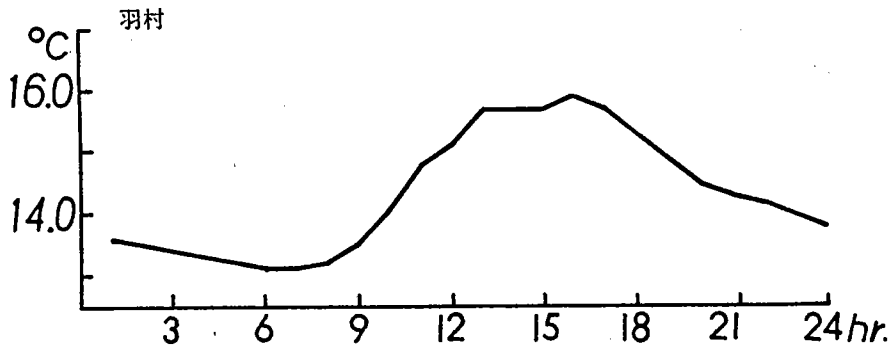
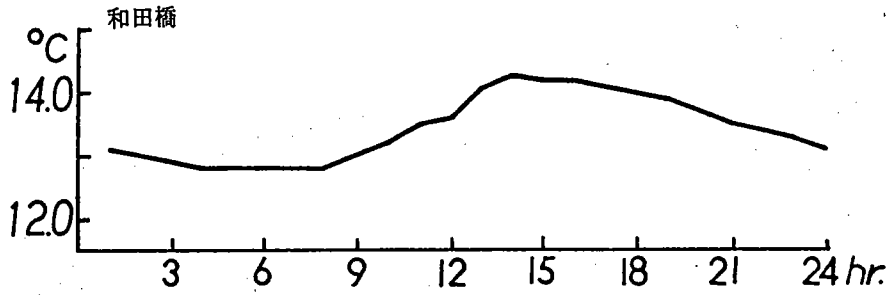
4) 中・下流域における水温日変化

多摩川中流域では奥多摩湖及び氷川発電所と多摩川第3発電所の影響で、河川水温の日変化の様

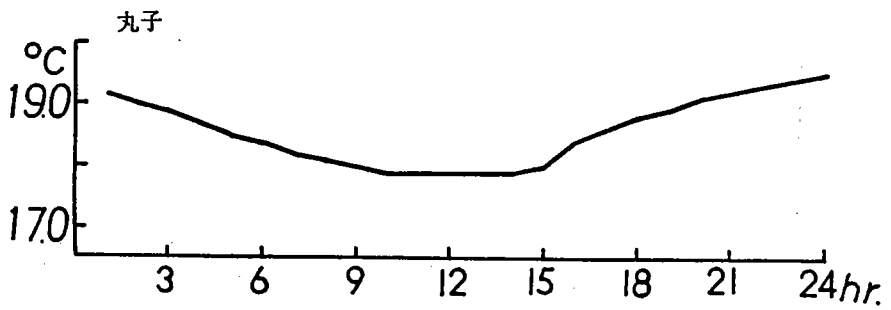
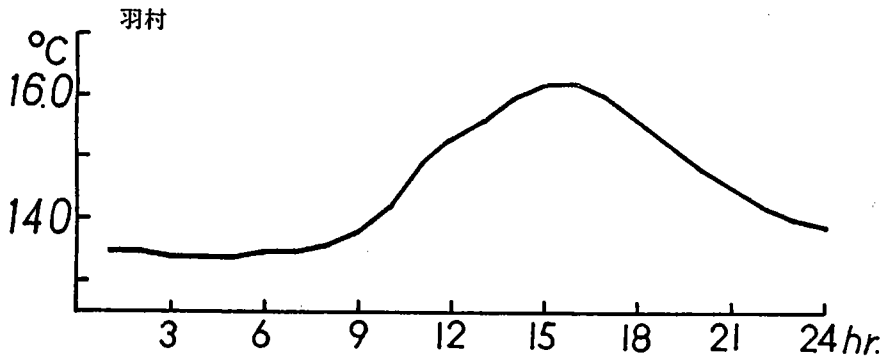
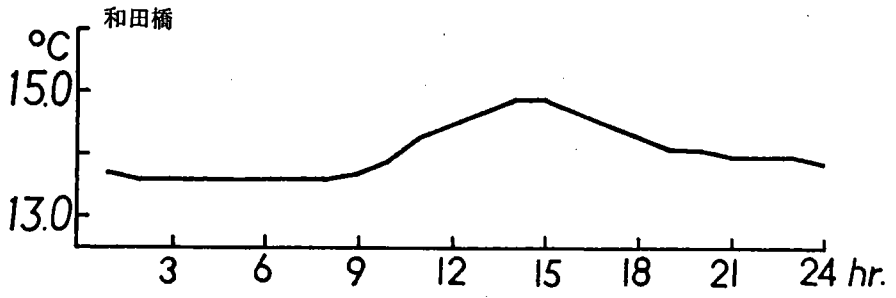
図V-18 中・下流の河川水温日変化



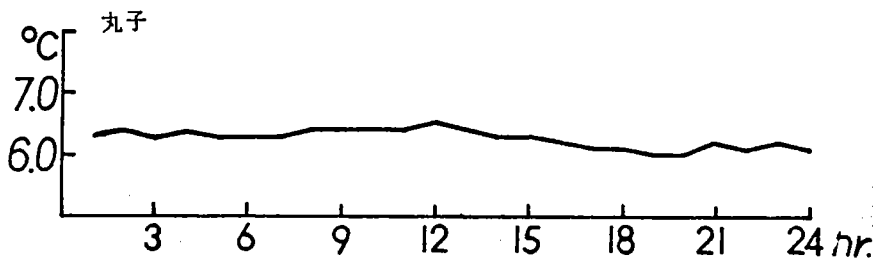
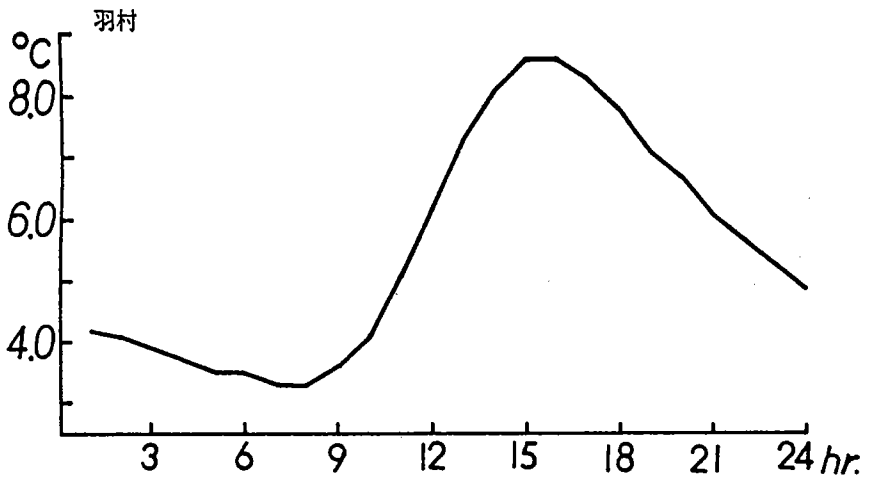
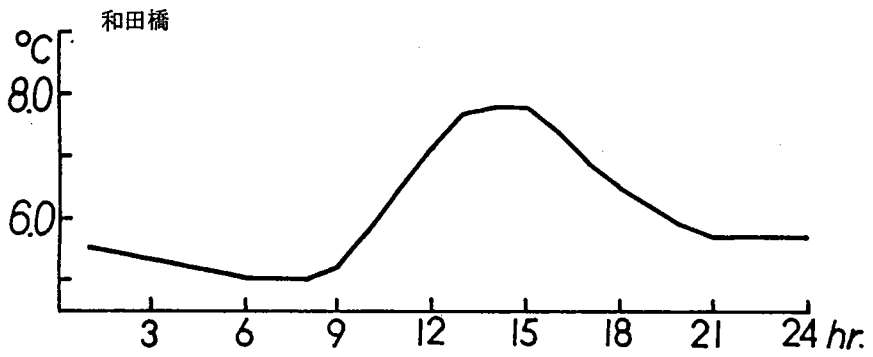
Aug. 30, 1977



Oct. 30, 1977



Feb. 26, 1978



相が、水利施設のない自然河川の場合とは異なる。

図V-18は、和田橋、羽村、丸子の3地点における水温日変化の様子を示す。

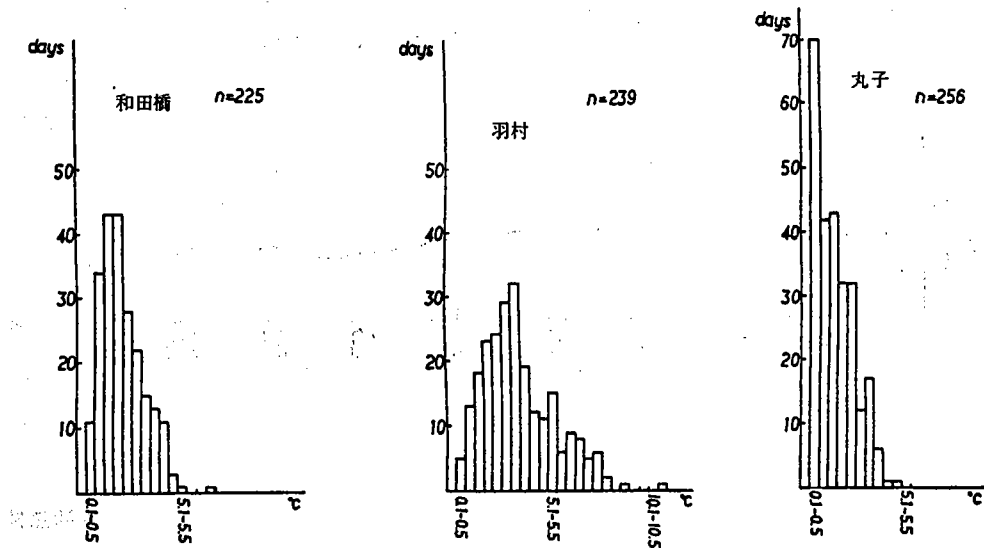
図からもわかる様に、多摩川第3発電所放水口から約7km下流の和田橋における河川水温は、水利施設の影響から、復元していることがわかる。しかし、羽村まで流下する間に、幅の広い河谷を流下する間に、さらに水温日較差が大きくなっている。そして、最高水温が出現する時刻は、羽村の方が和田橋より1~2時間おくれていて、中流域の特性がみられる。

丸子地点の水温日変化については、羽村地点の水温にくらべ、日較差は小さく、位相差も大きい。羽村から丸子に至る間では、雑排水の流入もあり、丸子の水温は、その影響も受け複雑であろう。しかし、一般に、先にも述べたように、河川下流域では、水温日較差が小さくなる特性は現れている。

図V-19は、和田橋、羽村、丸子の3地点における河川水温の日較差の頻度分布を示す。この図からもわかるように、和田橋では、1.6~2.5℃の間に最多頻度があり、羽村では、3.1~3.5℃の間に、丸子では0.1~0.5℃の間に最多頻度がみられる。

図V-19 水温日較差の頻度分布

(1976年10月~1977年9月)



VI 河川水温の形成機構

(1) 河川水の熱収支

河川水温の日変化は、流水の熱収支の日変化によって決定される。

流水の熱収支は、一般に

$$c\rho D \left(\frac{d\theta_w}{dx} \right) = Q_s + Q_D \quad (6)$$

で表わされる。そして、ここで θ_w は水温、 c 、 ρ は水の比熱と密度、 D は平均水深、 Q_s は水面での熱収支、 Q_D は、地下水などの流入によって持ち込まれる熱量で、 Q_s と Q_D は次のように表わされる。

$$Q_s = R_N - \ell E_0 - H_0 \quad (7)$$

$$Q_D = c\rho g (\theta_w - \theta_D) \quad (8)$$

ここで R_N は水面での正味放射量、 ℓE_0 は潜熱交換量、 H_0 は顕熱交換量である。さらに、 g は河川の単位水柱当りに附加される流入量、 θ_D は地下水などの流入水水温である。

また、左辺は、

$$c\rho D \left(\frac{d\theta_w}{dx} \right) = c\rho D \left(\frac{\partial\theta_w}{\partial x} \right) + c\rho Dv \left(\frac{\partial\theta_w}{\partial x} \right) \quad (9)$$

に書きかえられる。ここで、 v は平均流速、 x は流下距離である。

式(8)で表わされる地下水などの持ち込み熱量は、 θ_D の日変化が小さいため、 Q_D は、 θ_w の日変化に伴って変わる性質を持っている。

また、式(7)の中の ℓE_0 と H_0 は、

$$\ell E_0 = 1.5 h (e_{w_s} - e_a) \quad (10)$$

$$H_0 = h (\theta_w - \theta_a) \quad (11)$$

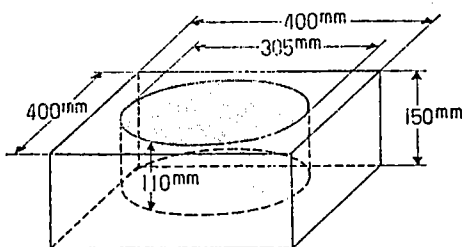
となり、 h は顕熱伝達係数で、風速(v m/sec)の函数、 e_{w_s} は水温 θ_w に対する飽和水蒸量(mb)、 e_a は空气中(高さ1 m)の水蒸気量(mb)、 θ_a は気温(高さ1 m)である。そして、ここでは、

$$h = 0.96 + 0.72 v \quad (\text{cal/cm}^2 \cdot \text{min} \cdot ^\circ\text{C}) \quad (12)$$

を用いた。

式(7)で表わされる水面熱収支の測定には、各種の気象機器が必要であるので、一般には数多くの地点で、これらの機器を整えることが不可能である。

図VI-1 簡易水面熱収支測定器



そこで、この調査に当たっても、熱収支各項の精密な測定と併せて、簡易法を用いた。

簡易法というのは、図VI-1に示すような断熱材で作った簡易水面熱収支測定器を用いて、水面での熱収支と平衡水温を求める方法である。

すなわち、断熱容器内の水温(θ_{wv})の時間変化は、

$$c \rho \left(\frac{d\theta_{wv}}{dt} \right) = \frac{1}{\pi r^2 D_v} \left\{ \pi r^2 Q_{ov} - (\pi r^2 + 2\pi r D) w Q_L \right\} \quad (13)$$

で表わされている。ここで、 D_v は容器内の水深（容器の深さ）、 r は容器の内半径、 $w Q_L$ は、断熱容器壁から失われる熱流束である。しかし、 $w Q_L \neq 0$ であるから、(13)式は書きかえられ

$$\frac{d\theta_{wv}}{dt} = \frac{Q_{ov}}{c \rho D_v} \quad (14)$$

となる。

それゆえ、

$$Q_{ov} = c \rho D_v \left(\frac{d\theta_{wv}}{dt} \right) \quad (15)$$

となり、 D_v と $\left(\frac{d\theta_{wv}}{dt} \right)$ を観測することによって、 H_{ov} が求められる。しかし、一般に $\theta_{wv} > \theta_w$ となるので、 $Q_{ov} < Q_s$

(2) 河川水温と熱収支の観測結果

1978年9月10日～11日にかけて、氷川、白丸、川井、御岳、日向和田の5地点において水面熱収支と河川水温の観測を行った。この観測に当って、氷川では熱収支項を求める精密観測と簡易法とを平行させ、他の4地点では簡易法のみによって行った。

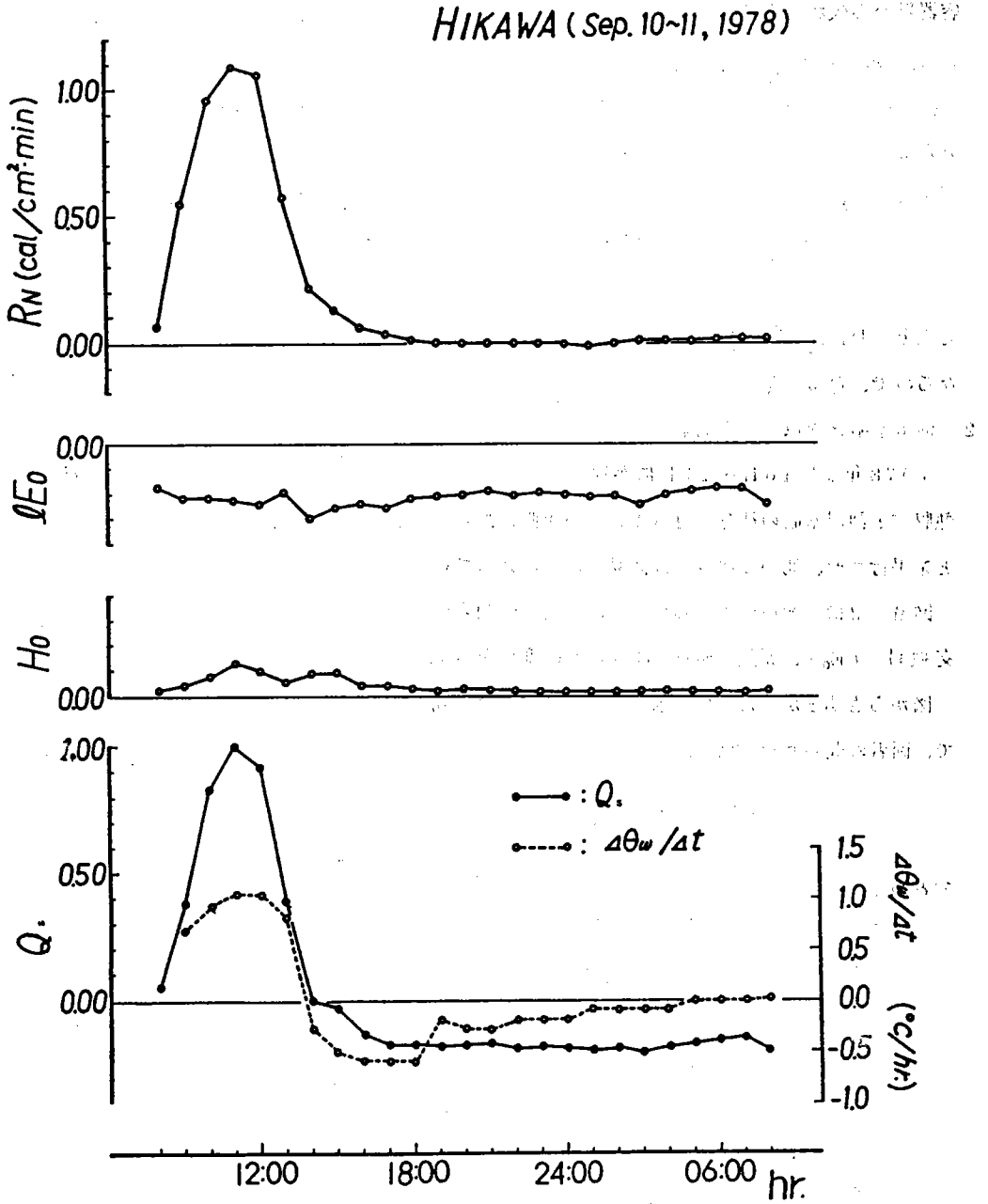
図Ⅴ-2は、氷川地点における河川水温の時間変化とそれに関わる水面の正味放射量 (R_N)、潜熱交換量 ($L E_0$)、顕熱交換量 (H_0) の時間変化を示す。

図からも明らかなように、水面熱収支と水温の時間変化と極めてよい対応を示し、相関係数が0.92で、両者の間の回帰式は、直線として

$$\frac{\Delta \theta_w}{\Delta t} = 1.47 Q_s - 0.20 \quad (16)$$

で表わされる。

図 VI-2 河川水温と水面における熱収支の日変化



このように、水温の時間変化は、ほぼ水面の熱収支によって説明される。

次に、河川水面の熱収支 (Q_s) と簡易法による断熱容器内の水面の熱収支 (Q_{sv}) との関係を探ってみると図Ⅵ-3に示すようになる。そして、両者の間に

$$Q_{sv} = -0.14 + 0.80 Q_s \quad (r^2 = 0.95)$$

の関係が得られる。

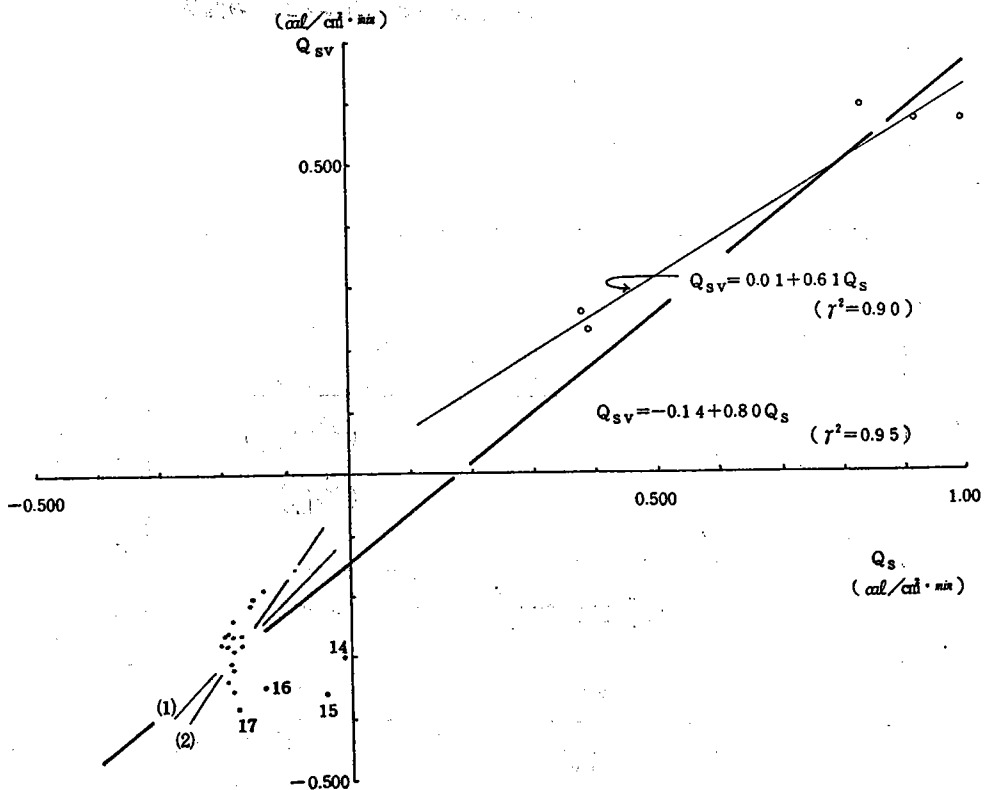
さらに、加熱時と冷却時に分けて両者の関係を求めると、9時から13時までの加熱時には

$$Q_{sv} = 0.01 + 0.61 Q_s \quad (r^2 = 0.90)$$

で表わされる。

他方、冷却過程の14時と15時には $|Q_{sv}| \gg |Q_s|$ であるので、この2回を除いて、両者の関

図Ⅵ-3 氷川地点における Q_s と Q_{sv} の関係



係を求めると

$$Q_{sv} = -0.09 + 1.03 Q_s \quad (r^2 = 0.23)$$

で表わされる回帰式となり、図中の直線が、(1)で示すことが出来る。

さらに、16時の値を除くと、

$$Q_{sv} = -0.02 + 1.42 Q_s \quad (r^2 = 0.42)$$

が得られ、図中の(2)で示す直線となる。

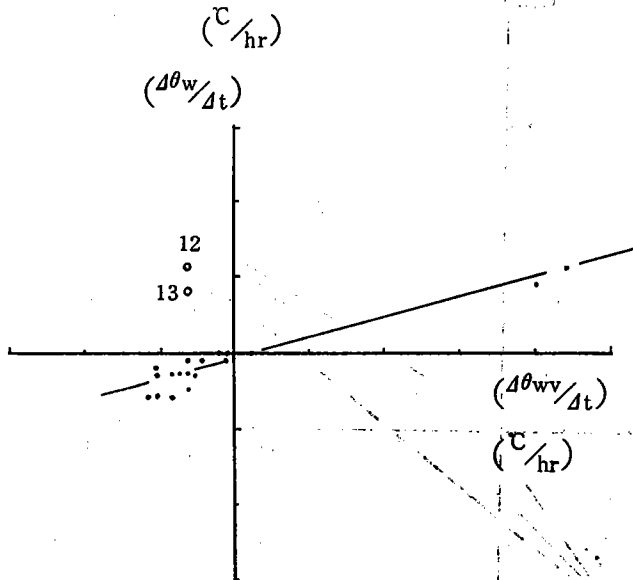
以上のように、両者の間には、直線回帰式で表わすことの出来る関係が認められる。

そこで、次に河川水温と断熱容器内水温の時間に対する変化率 ($\Delta\theta_w/\Delta t$ 、 $\Delta\theta_{wv}/\Delta t$) を求め、両者の関係を求めた。その結果

$$(\Delta\theta_w/\Delta t) = -0.09 + 0.27 (\Delta\theta_{wv}/\Delta t) \quad (r^2 = 0.89)$$

が得られた(図VI-4参照)。ただし、最高水温の出現する時間帯の12時~13時は、断熱容器内の水温変化が、河川水温の変化に先行し、位相差がみられるので、上の式は12時、13時の値については省略して求めた回帰式である。

図VI-4 氷川地点における ($\Delta\theta_{wv}/\Delta t$) と ($\Delta\theta_w/\Delta t$) の関係



さらに、他の地点にも、同様に、両者の関係を

$$\frac{\Delta\theta_w}{\Delta t} = A + B \left(\frac{\Delta\theta_{wv}}{\Delta t} \right)$$

で表わし、A、Bを求めると、次表のようになる。

| 期 日 | 地 点 名 | A | B | r^2 | 備 考 |
|---------------------------|-------|-------|------|-------|----------------|
| 1978年 9月 10日 11日 | 氷 川 | -0.09 | 0.27 | 0.89 | 12時～ 13時を除く |
| | 白 丸 | 0.00 | 0.08 | 0.37 | |
| | 川 井 | -0.01 | 0.16 | 0.74 | |
| | 御 岳 | 0.02 | 0.18 | 0.45 | |
| 1979年 24日～25日 | 氷 川 | 0.02 | 0.31 | 0.69 | |
| | 御 岳 | 0.03 | 0.17 | 0.71 | |
| 1979年 28日～29日 | 御 岳 | 0.07 | 0.22 | 0.66 | |
| | 二俣尾 | 0.00 | 0.10 | 0.60 | |

各地点ともかなりよい相関で河川水温と断熱容器内水温との時間変化が直線回帰式で表わされるこ
とがわかる。

前述すなわち、多摩川水系における奥多摩湖下流の水温は、水面熱収支によって形成されると考えるこ
とが出来る。

（1）氷川（2701）と白丸（2801）の間（10時～13時）は、水面熱収支が正（加熱）であるが、水温は
低下する（2701は0.02、2801は0.00）。これは、断熱容器内水温が、水面熱収支によって形成される水温より
高いからである。

Ⅶ. むすび

多摩川水系における水温は、上流から下流へ特性が変わり、その特性によって河川を4つの区間に分
けることが出来る。

第1は、奥多摩湖より上流の区間で、ここでは水温の日変化などが発生する。

第2は、奥多摩湖とその下流の発電所を含む区間で、この区間では、上流で発生した水温日変化などが
吸収され消滅する。

第3は、多摩川第3発電所放水口よりほぼ羽村に至る区間である。ここでは、水温日変化が
水面熱収支によって復元する。

第4は、羽村より下流の区間で、ここでは、家庭や工場などの排水の影響で、河川水温が平衡水温よ
り高い値を示すことがある。

（1）氷川（2701）と白丸（2801）の間（10時～13時）は、水面熱収支が正（加熱）であるが、水温は
低下する（2701は0.02、2801は0.00）。これは、断熱容器内水温が、水面熱収支によって形成される水温より
高いからである。

（2）川井（2901）と御岳（2902）の間（14時～17時）は、水面熱収支が正（加熱）であるが、水温は
低下する（2901は0.01、2902は0.02）。これは、断熱容器内水温が、水面熱収支によって形成される水温より
高いからである。

（3）御岳（2902）と二俣尾（3001）の間（18時～21時）は、水面熱収支が正（加熱）であるが、水温は
低下する（2902は0.02、3001は0.00）。これは、断熱容器内水温が、水面熱収支によって形成される水温より
高いからである。

参考文献

- 1) 岡 菴 : 河川の温度観測成績、森林治水気象集報、14 (1923)、655
- 2) Eckel, O. and H. Reiter : Zur Berechnung des Sommerlichen Wärmeumsatzes in Flussläufen, Geogr. Ann., Vol. 32 (1950) 188-209
- 3) 孫野長治・熊井 基・東 晃 : 河川の水温について、農業物理研究、第2輯(1952) 41-54.
- 4) 新井正・西沢利栄 : 水温論、共立出版(1974)
- 5) 森田 浩 : 流出水の低水温形成機構と冷水流出の予報に関する研究、東北地域災害科学研究(1967)、55-72.
- 6) 森田 浩 : 渓流水温の研究(第1報) — 林試・釜淵試験地、1号沢・無雪期(5月~9月)間の渓流水温の解析 —、山形大紀要(農学)6 (1970)、185-216.
- 7) 森田 浩 : 渓流水温の研究(第2報) — 林試・釜淵試験地、1号沢・無雪期(5月~9月)の渓流水温の解析 —、山形大紀要(農学)6 (1971)、267-298.
- 8) 森田 浩 : 河川水温の研究(第1報) — 山形県 赤川 三鶴 昭和27年~31年(ダム建設前) 7月~9月間の河川水温の解析 —、山形大紀要(農学)6 (1972)、417-442.
- 9) 森田 浩 : 流出水の低水温形成機構に関する研究(その1)水温研 12 (1968)、4、3-11、(その2)水温研 13 (1969) 5、3-16、(その3)水温研 13 (1969) 6、2-16、(その4)水温研 13 (1969) 2、3-10.
- 10) 森田 浩 : 河川水温の研究(1)、水温研、14 (1970) 4、9-17、(2)、水温研(1971) 2、3-11、(3)、水温研 16 (1972) 1、8-26、(4)、水温研 16 (1972) 9、13-24
- 11) 森田 浩 : 渓流水温の研究(その1~その5)、水温研 14~15 (1970-71)
- 12) 高月豊一・高橋一郎・手島三二 : 発電施設が水温に及ぼす影響に関する研究(1) — 隧道流下時の水温変化について(1) —、農土研 22 (1954) 551-566.
- 13) 北海道開発庁 : 双雲別電源開発計画調査報告 — 主として水路による水温低下の調査 — (1953)、1-183.
- 14) Nishizawa, T. and K. Yamabe : Change in Downstream Temperature caused by the Construction of Reservoirs. Part 1., Sci. Rep. Kyōiku Daigaku, Section C, 10 (1970) 27-42.
- 15) 河川水温調査会 : 只見水系貯水池調査結果および河川水温などに関する報告(1964)、1-73.
- 16) 西沢利栄 : 流量と流域の相似性について、地理評 43 (1970)、527-534.
- 17) 東京都公書局監視部 : 河川の水質汚濁常時測定データ集
(昭和50年4月~昭和51年3月)
(昭和51年4月~昭和52年3月)
- 18) 西沢利栄 : 河川水温日変化の発生・保存・消滅に関する研究(科学研究費補助金一般研究B) (1979).