

JNC TN5400 2005-005

幌延深地層研究計画における
水収支法による地下水涵養量の推定
— 2003年8月～2004年7月 —
(研究報告)

2005年8月

核燃料サイクル開発機構
幌延深地層研究センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@inc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2005

2005年8月

幌延深地層研究計画における水収支法による地下水涵養量の推定

— 2003年8月～2004年7月 —

(研究報告)

瀬尾昭治^{*}、竹内竜史^{**}、操上広志^{*}、原 稔^{*}

要 旨

核燃料サイクル開発機構 幌延深地層研究センターでは、幌延深地層研究計画の一環として、表層水理調査を実施している。表層水理調査では、地下水流動解析に用いる上部境界条件の一つである地下深部への地下水涵養量の算出方法の一つとして、水収支法を採用している。水収支法とは、流域にもたらされる降水量から河川流出高と蒸発散量を差し引いた量を地下水涵養量とする方法である。そのため、2002年から順次、河川流量観測および気象観測体制の整備を行い、観測を継続している。

本報告書では、研究所設置地区周辺の3流域(P-1, P-2, P-3流域)について観測体制が整った2003年8月から2004年7月までの1年間の地下水涵養量を水収支法で求めた結果について報告する。

その結果、当該1年間の地下水涵養量はP-1, P-2, P-3の各流域で約230mm, -20mm, 340mmとなり、P-1, P-3流域は涵養域、P-2流域は絶対値は小さいものの流出域であると推定された。また、これら3流域全体の地下水涵養量は約100mmと試算された。

※ 深地層研究グループ

※※ 東濃地科学センター 瑞浪超深地層研究所 超深地層研究グループ

August, 2005

Estimation of groundwater recharge rate by water balance method
in Horonobe Underground Research Laboratory Project
- From August, 2003 to July, 2004 -
(Research Document)

Shoji SENO*, Ryuji TAKEUCHI**, Hiroshi KURIKAMI*, Minoru HARA*

Abstract

Horonobe Underground Research Center of Japan Nuclear Cycle Development Institute has been investigating surface hydrogeological features in and around the Horonobe Underground Research Laboratory (URL) area as a part of Horonobe URL project. In order to calculate the recharge rate into the deep underground by the water balance method, monitoring systems of the river flux and meteorological stations have been installed since 2002.

The annual recharge rates of the P-1, P-2 and P-3 basins that are located in and around the URL area are calculated by using the data from August 2003, when the installation of the monitoring systems had been completed, to July 2004.

The result shows that the recharge rates of the P-1, P-2 and P-3 basins are 230 mm/y, -20 mm/y and 340 mm/y, respectively. It means that the P-1 and P-2 basins are recharge areas while the P-3 basin is a discharge area. The average infiltration rate within the three basins is estimated to be approximately 100 mm/y.

* Geotechnical Science and Engineering Group

** Underground Research Group, Mizunami Underground Research Laboratory,
Tono Geoscience Center

目 次

1. はじめに.....	1
2. 表層水理調査の概要.....	2
3. 水収支法による地下水涵養量の推定手法.....	3
3.1. 表層水理調査位置.....	5
3.2. 気象観測(降水量・蒸発散量).....	8
3.3. 河川流量観測.....	13
4. 水収支法による地下水涵養量の推定.....	20
4.1. 降水量.....	23
4.2. 蒸発散量.....	26
4.3. 河川流出高.....	29
4.4. 地下水涵養量.....	32
5. おわりに.....	33
参考文献.....	34

付 録

1. 地下水涵養量算出データ
2. 蒸発散量算出手法
3. 河川流量観測データ

図の目次

図 2.1	表層水理調査の体系	2
図 3.1	地下水流動における表層部水収支の概念	4
図 3.2	表層水理調査位置図(幌延町)	5
図 3.3	表層水理調査位置図(北進地区)	6
図 3.4	北進気象観測所模式図	10
図 3.5	北進気象観測所データ通信概要図	11
図 3.6	北進蒸発散量観測タワー設計図	12
図 3.7	河川流量観測システム模式図	14
図 3.8	河川流量観測システム機器構成図	15
図 4.1	気象観測および河川流量観測結果	20
図 4.2	降水量と河川流量高のピークの関係(例)	21
図 4.3	積雪相当水量および降水量(2003 年度冬期, 2004 年度冬期)	24
図 4.4	積雪期総降水量	24
図 4.5	降水量測定結果(北進気象観測所)	25
図 4.6	算出手法別の月別蒸発散量	27
図 4.7	蒸発散量算出結果(北進観測所)	28
図 4.8	河川流量観測結果	30
図 4.9	河川流出高算出結果	31
図 4.10	地下水涵養量算出結果	32

表の目次

表 3.1 北進地区の観測河川基本情報.....	7
表 3.2 観測対象流域の流域特性.....	7
表 3.3 気象観測項目一覧.....	9
表 3.4 河川流量観測システム設置機器一覧.....	15
表 4.1 蒸発散量推定手法の適用性.....	26
表 4.2 H-Q 曲線式.....	31
表 4.3 流域別地下水涵養量.....	32

写真の目次

写真 3.1 北進気象観測所写真	10
写真 3.2 北進蒸発散量観測タワー写真	12
写真 3.3 河川流量観測システム設置例(P-2 地点)	14
写真 3.4 河川流量観測状況(P-1 地点)	16
写真 3.5 河川流量観測状況(P-2 地点)	17
写真 3.6 河川流量観測状況(P-3 地点)	18
写真 3.7 回転式流速計	19
写真 4.1 メタルウェファー式積雪重量計(北進気象観測所)	23
写真 4.2 冬期の北進気象観測所状況(2005 年 2 月)	23

1. はじめに

核燃料サイクル開発機構（以下、「サイクル機構」という）幌延深地層研究センターでは、幌延深地層研究計画の一環として、表層水理調査を実施している。表層水理調査では、地下水流動解析に用いる上部境界条件の一つである地下深部への地下水涵養量の算出方法の一つとして、水収支法を採用している。水収支法とは、流域にもたらされる降水量から河川流出高と蒸発散量を差し引いた量を地下水涵養量とする方法である。しかしながら、積雪寒冷地においては、地下水涵養量を算定するための系統的な調査はあまり実例がない。

幌延深地層研究センターでは 2002 年から順次、河川流量観測および気象観測体制の整備を行い、水収支法に関する観測を継続している。

本報告書では、各観測についての概要を述べ、研究所設置地区周辺流域について観測体制が整った 2003 年 8 月から 2004 年 7 月までの 1 年間の地下水涵養量を水収支法で求めた結果について報告する。また、2004 年 7 月以降の観測データも用いて、積雪相当水量および蒸発散量について若干の検討を行ったので、その結果についても報告する。

2. 表層水理調査の概要

地下水流動解析に用いる上部境界条件の一つである地下深部への地下水涵養量を把握することを目標として表層水理調査を実施している。表層水理調査の体系を図 2.1 に示す。

ここで得られる情報は、地下深部の地下水流動系把握のために実施する地下水流動解析の上部境界条件として重要な要素となる。特に地下水涵養量の把握にあたっては、地下水位や土壤水分を用いる直接的な手法（地下水工学的な手法）と、水収支法を用いた間接的な手法（水文学的手法）の両者を用いて、総合的に評価していくことが重要である。

本報告では、研究所設置地区の周辺流域を対象として水文学的手法である水収支法で地下水涵養量を試算した。

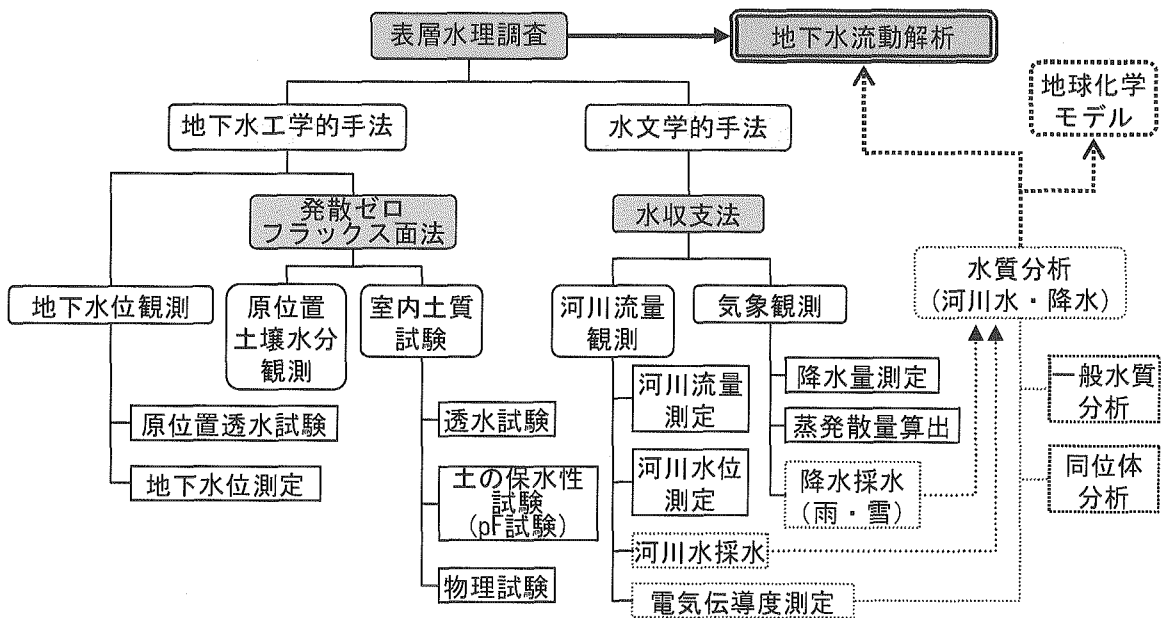


図 2.1 表層水理調査の体系

3. 水収支法による地下水涵養量の推定手法

不飽和帯の水収支は、以下の式で表される¹⁾。

$$P = E + R_f + R_i + IG + \Delta S_u \cdots \cdots \cdots (1)$$

ここで、 P : 降水量
 E : 蒸発散量
 R_f : 表面流出量
 R_i : 中間流出量
 IG : 地下水涵養量
 ΔS_u : 土壌水分貯留量の変化

また、飽和帯の水収支は以下の式で表される。

$$IG = R_g + ID + \Delta S_s \cdots \cdots \cdots (2)$$

ここで、 R_g : 地下水流出量
 ID : 深層浸透量
 ΔS_s : 地下水貯留量の変化

いま、式(1)と式(2)から IG を消去すると、

$$P = E + R_f + R_i + R_g + ID + \Delta S_s + \Delta S_u \cdots \cdots \cdots (3)$$

式(3)を ID について解くと、

$$ID = P - E - R_f - R_i - R_g - \Delta S_s - \Delta S_u \cdots \cdots \cdots (4)$$

となる。中間流出量 (R_i) と地下水流出量 (R_g) については、対象流域外への移動がないと仮定した場合には無視できる。また、地下水貯留量の変化 (ΔS_s) および土壌水分貯留量の変化 (ΔS_u) については水収支を議論するうえで重要な要素のひとつであるが、これらは水収支期間の始めと終わりの地下水面の位置に依存するため、地下水位がほぼ同一となる水収支期間を選定することで、便宜上、 ΔS_s および ΔS_u については考慮しないこととした。

これらの仮定に基づき、水収支法による深層浸透量の算定は以下の式で表すことができる。

$$ID = P - E - R_f \cdots \cdots \cdots (5)$$

表面流出量 (R_f) は、そのすべてが河川に流入・流下するものとすれば河川流出高 (Q) とおける。また、深層浸透量 (ID) が、深部地下水流動系の評価を目的とした地下水流動解析時に必要となる「地下水涵養量」であるため、深層浸透量 (ID) をこれ以降、地下水涵養量 (G) と表現する。

水収支法による地下水涵養量 (G) は、対象流域における降水量 (P) から蒸発散量 (E) および河川流出高 (Q) を除いて以下の式を用いて試算することができる。なお、図 3.1 には地下水流動における表層部水収支の概念図を示す。

$$G = P - E - Q \cdots \cdots \cdots (6)$$

- ここで、 G : 地下水涵養量
 P : 降水量
 E : 蒸発散量
 Q : 河川流出高

なお、幌延のような積雪寒冷地においては冬期の積雪の貯留を考慮する必要があるが、積雪の貯留量は積雪・融雪期を挟む一水文単位 (1 年間) の観測データを用いることで、積雪の貯留量変化の影響を無視することができる。

本章では、研究所設置地区およびその周辺における気象観測、河川流量観測について概要を述べる。

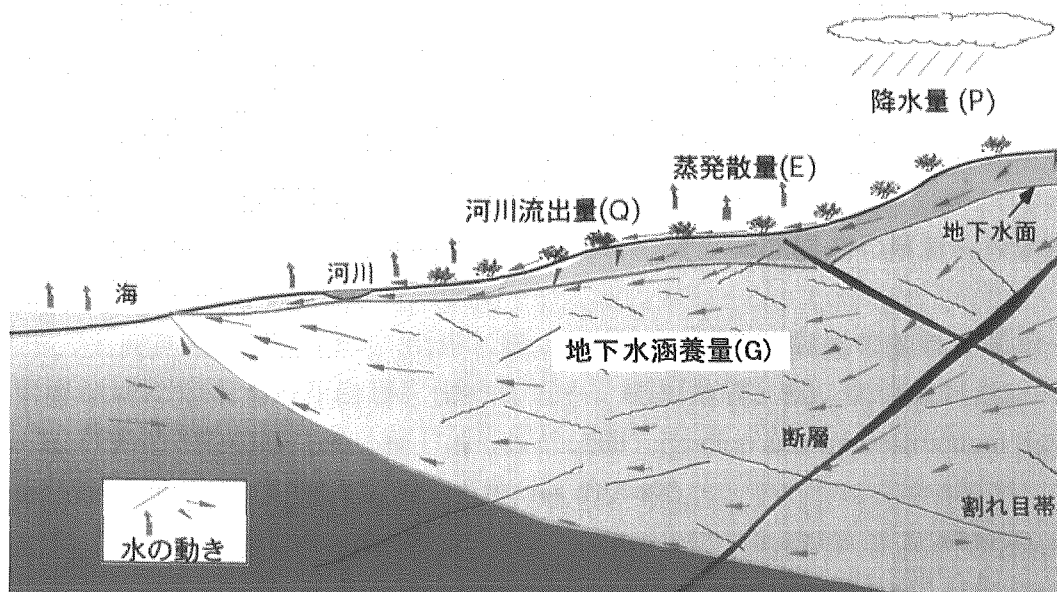


図 3.1 地下水流動における表層部水収支の概念²⁾を一部改変

3.1. 表層水理調査位置

図 3.2, 図 3.3 に幌延町および北進地区の表層水理調査位置図を示す。

北進地区の観測対象としている4河川(清水川, ペンケエベコロベツ川, 一号川, 二号川)の基本情報を表 3.1 に示す。これらの河川は, 天塩川水系の河川で, 清水川およびペンケエベコロベツ川は下エベコロベツ川支流の3次河川, 一号川, 二号川はペンケエベコロベツ川支流の4次河川である。表 3.2 には, 北進地区の観測対象流域の流域特性を示す。

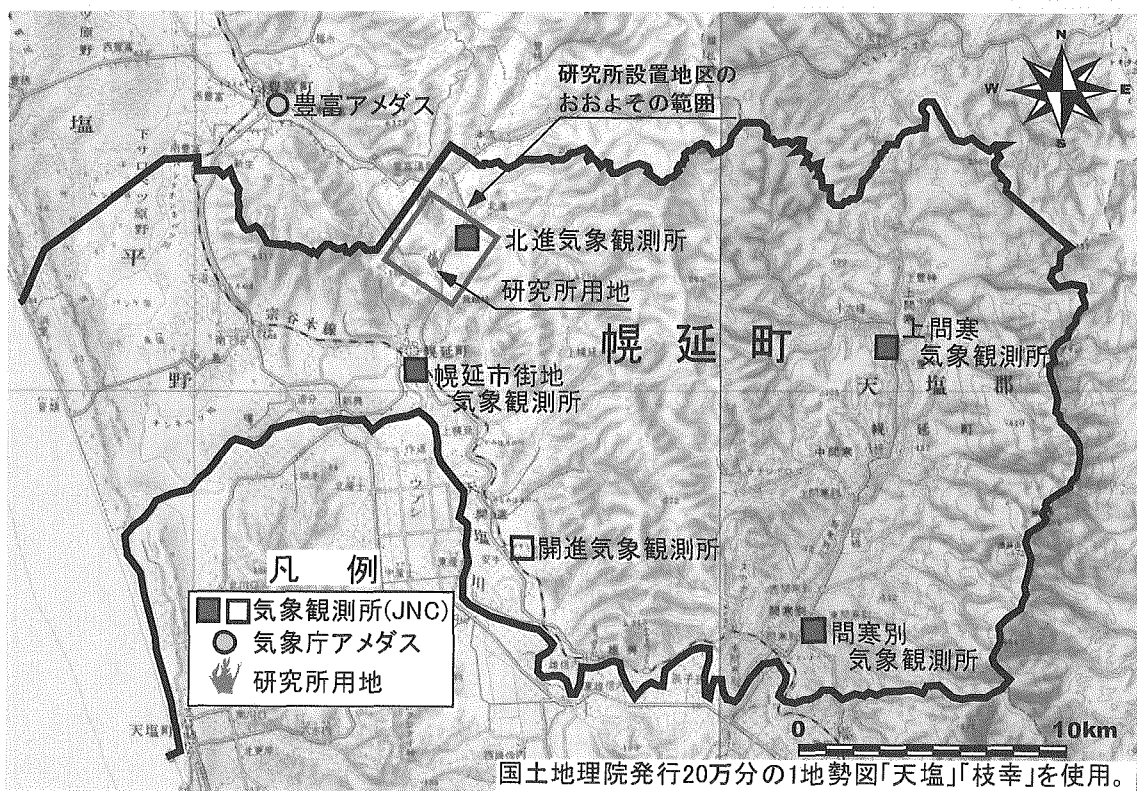
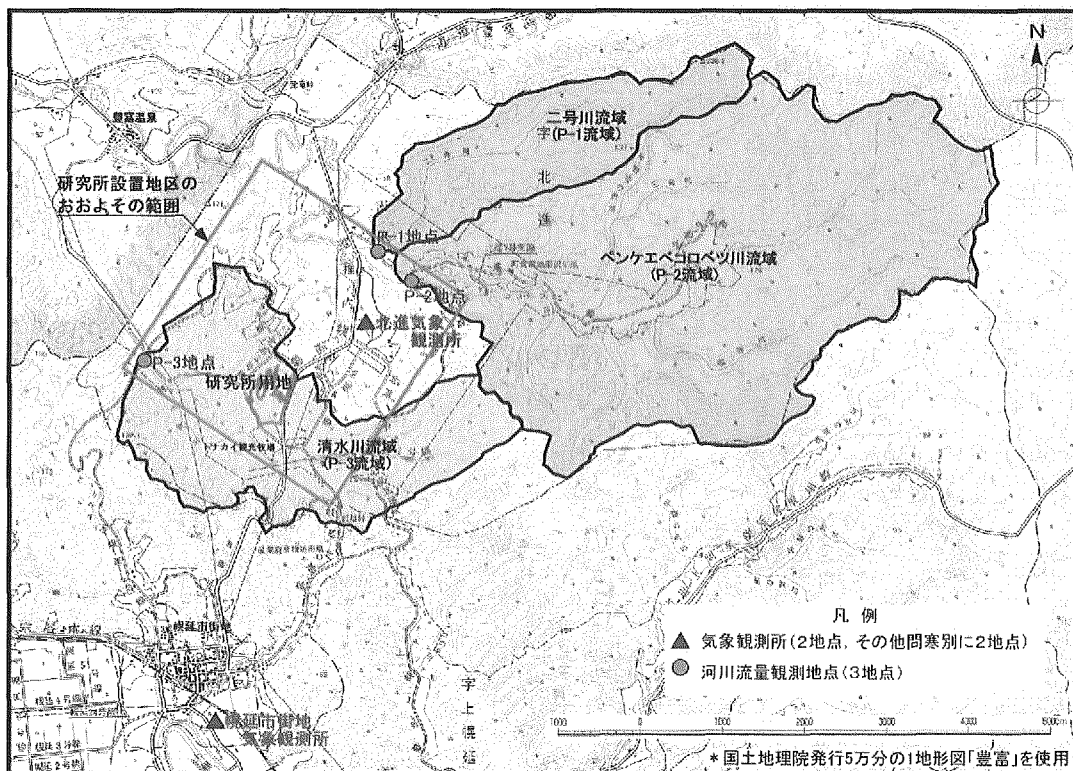
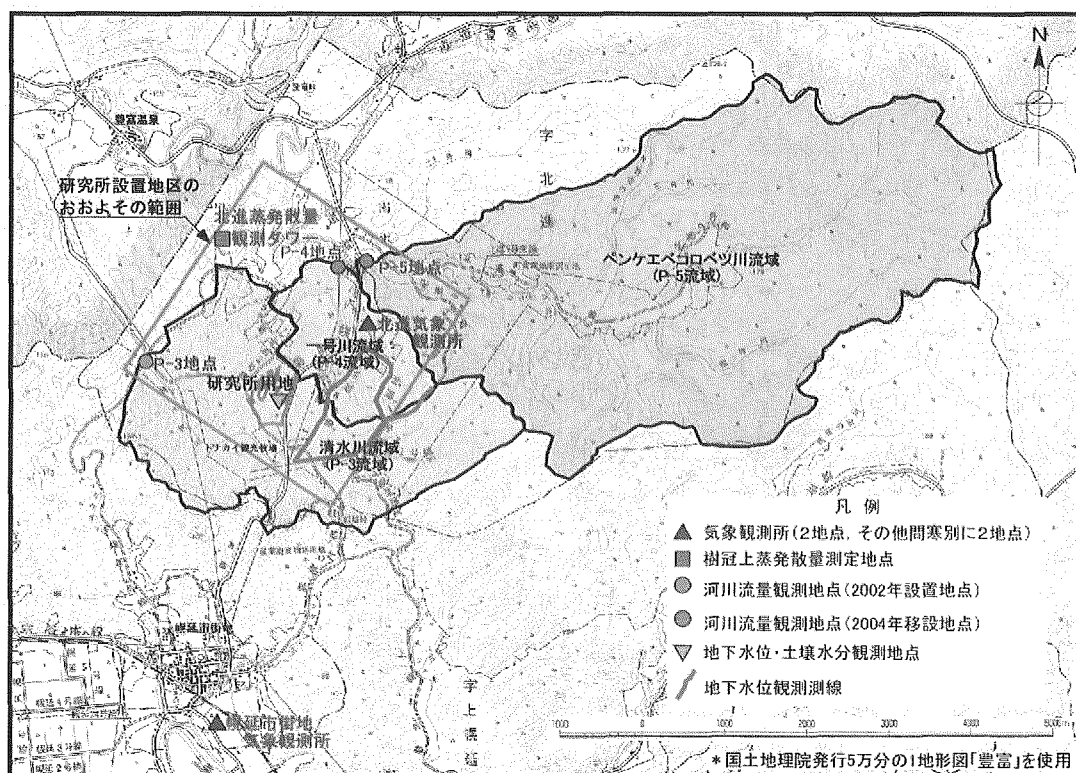


図 3.2 表層水理調査位置図 (幌延町)



(a) 2002~2003 年度整備状況



(b) 2004 年度整備状況

図 3.3 表層水理調査位置図 (北進地区)

表 3.1 北進地区の観測河川基本情報³⁾

水系名	河川名					流域面積(km ²)			流路延長 (km)
	本川	1次	2次	3次	4次	山地	平地	合計	
天塩川	てしおがわ 天塩川					—	—	—	—
	・	がわ サロベツ川				—	—	—	—
	・	・	しも 下エベコロエベツ川			—	—	—	—
	・	・	・	しみずがわ 清水川		11.5	0.9	12.4	9.0
	・	・	・	かわ パンケエベコロベツ川		26.1	2.8	28.9	11.5
	・	・	・	・	1 ごうがわ 一号川	2.4	0.2	2.6	3.0
	・	・	・	・	2 ごうがわ 二号川	4.3	0.2	4.5	6.0

表 3.2 観測対象流域の流域特性⁴⁾に一部追加

流域	流量観測の 流域面積	河川名	流域の地質		流域の地形	流域の植生
P-1	4.4 km ²	二号川	中下流域	声間層が分布	他の流域と比較すると谷地形がやや多く、中間的な起伏を示す流域	広葉樹60.0% 針葉樹23.4% 草地15.0%
			上流域	増幌層・稚内層が分布、局所的に宗谷夾炭層が分布		
P-2	19.7 km ²	ペンケ エベコロベツ川	下流域	声間層が分布	他の流域と比較すると谷地形がやや多く、起伏が大きな流域	広葉樹67.7% 草地18.7% 針葉樹11.1%
P-5	20.8 km ²		上流域	宗谷夾炭層・増幌層・稚内層が分布		
P-3	7.6 km ²	清水川	中下流域	西側に勇知層、東側に声間層が分布	他の流域と比較すると谷地形は多いが、起伏が小さい流域	草地39.7% 広葉樹29.2% 針葉樹19.9%
			上流域	主として声間層、一部に稚内層が分布		
P-4	2.3 km ²	一号川	流域全体に声間層が分布		他の流域と比較すると谷地形は少なく、起伏が最も小さい流域	草地94.9%

注) 未観測であった研究所用地の北東部流域を包括するため、観測3流域のうちP-1、P-2流域をそれぞれP-4、P-5流域に変更し、2004年11月から観測を開始した。

3.2. 気象観測(降水量・蒸発散量)

サイクル機構では幌延町内の気象観測を、1986年10月から幌延町開進地区で開始した(開進地区での観測は2003年3月終了)。その後、1996年7月から問寒別気象観測所で、1997年6月からは上問寒気象観測所、幌延市街地気象観測所で観測を開始した(図3.2)。

2002年7月に研究所設置地区が北進地区に決定したことを受け、2003年8月から北進気象観測所での観測を開始した(図3.2, 図3.3)。北進気象観測所は、研究所周りに最も近い観測所として研究所設置地区およびその周辺地区の植生の大半を占める牧草地の中に設置した。

また、草地に次いで多く分布する広葉樹林からの蒸発散量の推定を行うために研究所周りから北北西へ約2kmの広葉樹林(シラカバ林, 樹高約19m)に北進蒸発散量観測タワーを設置して2004年11月から観測を開始した(図3.3(b))。

現在、降水量および蒸発散量の推定に必要な気象観測は町内4箇所の気象観測所(北進, 幌延市街地, 問寒別, 上問寒)と北進蒸発散量観測タワーで行なっている。これらの気象観測所および気象観測タワーにおける観測項目の一覧を表3.3に示す。気象観測所では、風向・風速, 温度, 湿度, 降水量, 日照時間, 日射量, 積雪深を基本観測項目として、データ取得間隔を1時間としている。

北進気象観測所では蒸発散量を推定するために必要な観測要素(気圧, 地表風速, 地表(雪面)温度, 放射収支量, 地中熱流量)の観測も行なっている。また、積雪期の降水量の測定精度を向上させるための観測機器としていつ水式雨雪量計, メタルウェファース式積雪重量計を設置している。さらに、同観測所では蒸発散量の算定精度を向上させるため2004年9月からはデータ取得間隔を10分間隔としている。図3.4, 写真3.1には北進気象観測所の概念図および写真を示す。北進気象観測所からサイクル機構幌延深地層研究センターへは図3.5のデータ転送概念図に示すように日々定期的にデータを転送している。

北進蒸発散量観測タワーでは森林からの蒸発散量(樹冠上蒸発散量)を算定するために必要な観測要素の観測を行っており、データ取得間隔は10分間隔としている。図3.6, 写真3.2には北進蒸発散量観測タワーの概念図および写真を示す。北進蒸発散量観測タワーで取得したデータは、後述する河川流量観測システムの通信機器構成(図3.8)と同様に、携帯電話によるデータ通信機能を用いて定期的に転送している。

表 3.3 気象観測項目一覧

観測 主目的	観測機器	仕様	観測項目	気象観測所名				
				北 進	幌延 市街地	問寒別	上問寒	北進 タワー
降水量	雨量計	転倒ます型 (ヒーター付)	降水量(通年)	1				
		いっ水式 雨雪量計(風防付)	降水量(通年)	1				
		転倒ます型	降水量 (積雪期を除く)		1	1	1	
	積雪深計	レーザー式	積雪の深さ	1	1	1	1	
	積雪重量計	メタルウェファー式	積雪重量	1				
蒸発散量	温・湿度計	電気式温度計, 電気式湿度計	気温, 相対湿度	1	1	1	1	2
	気圧計	電気式気圧計	気圧	1				
	放射温度計	放射温度計	地表温度, 雪面温度	1				
	風向風速計	風車型風向風速計	風向・風速	1	1	1	1	3
	風速計	三杯風速計	地上風速	1				
	日照計		日照時間, 日射量	1	1	1	1	
	日射計		全天日射量	1				
	放射収支計		正味放射量 (純放射量)	1				1
地中熱流計		地中熱流量	1				1	

注1)全天日射量:水平な平面で上部から受ける日射量(J/m²)

注2)正味放射量:全天日射量等の下向き放射量と反射日射量等の上向き放射量の差(J/m²)

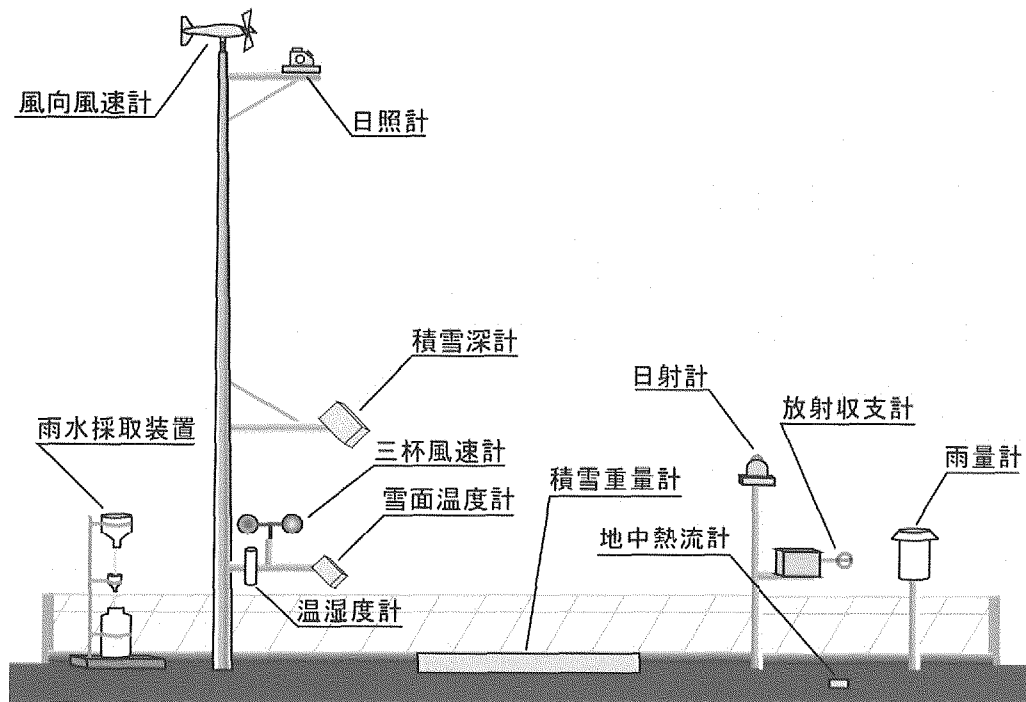


圖 3.4 北進氣象觀測所模式圖

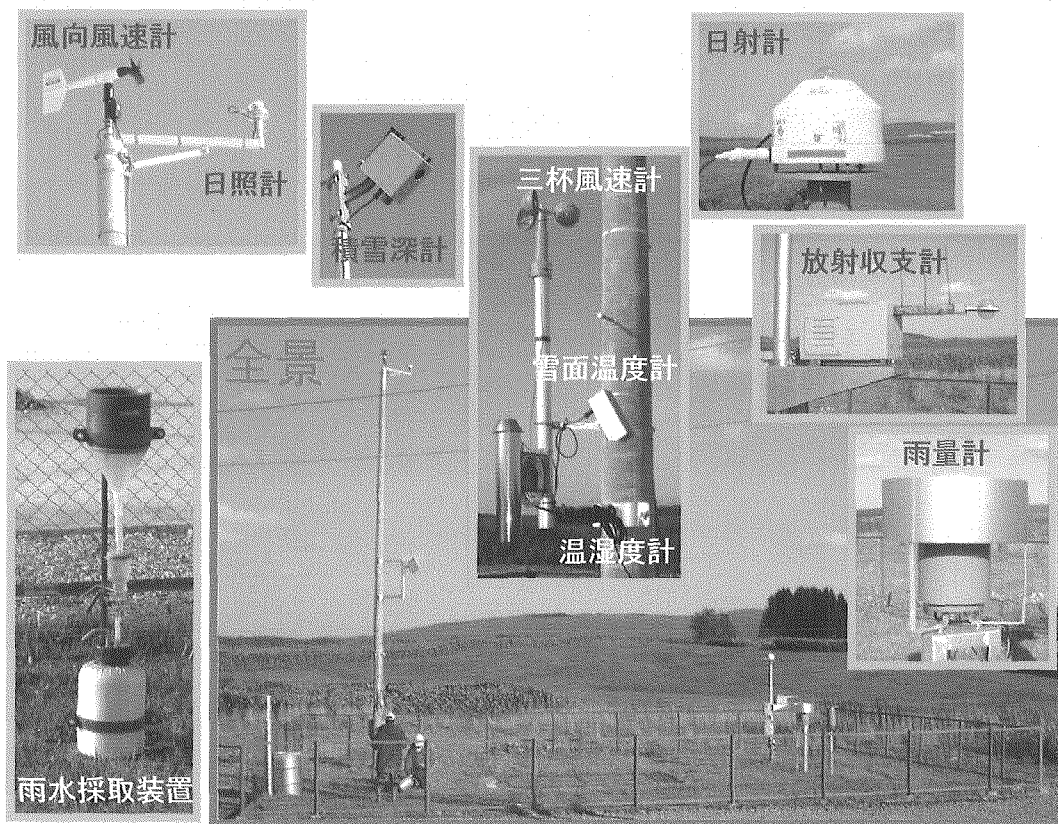


写真 3.1 北進氣象觀測所写真

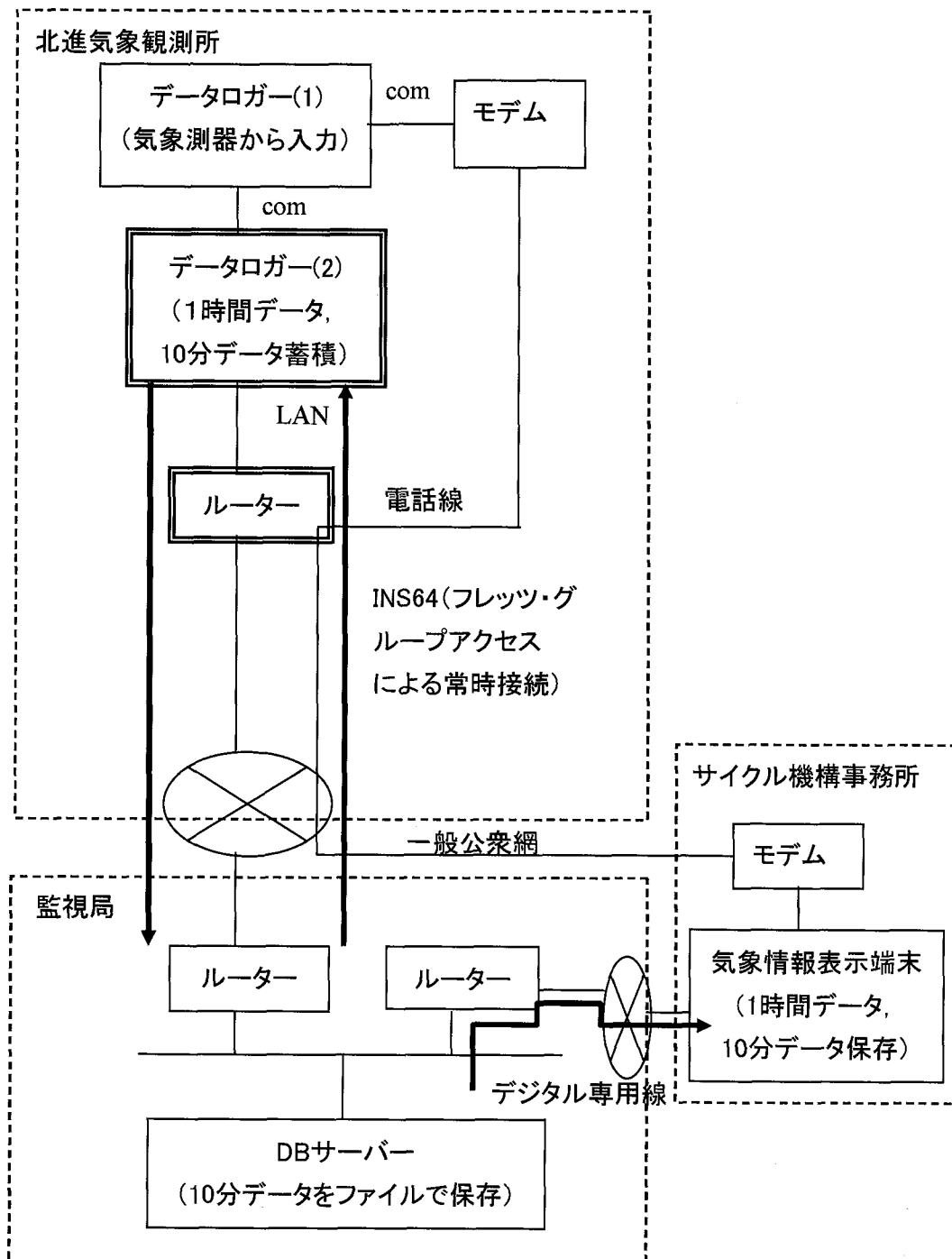


図 3.5 北進気象観測所データ通信概要図

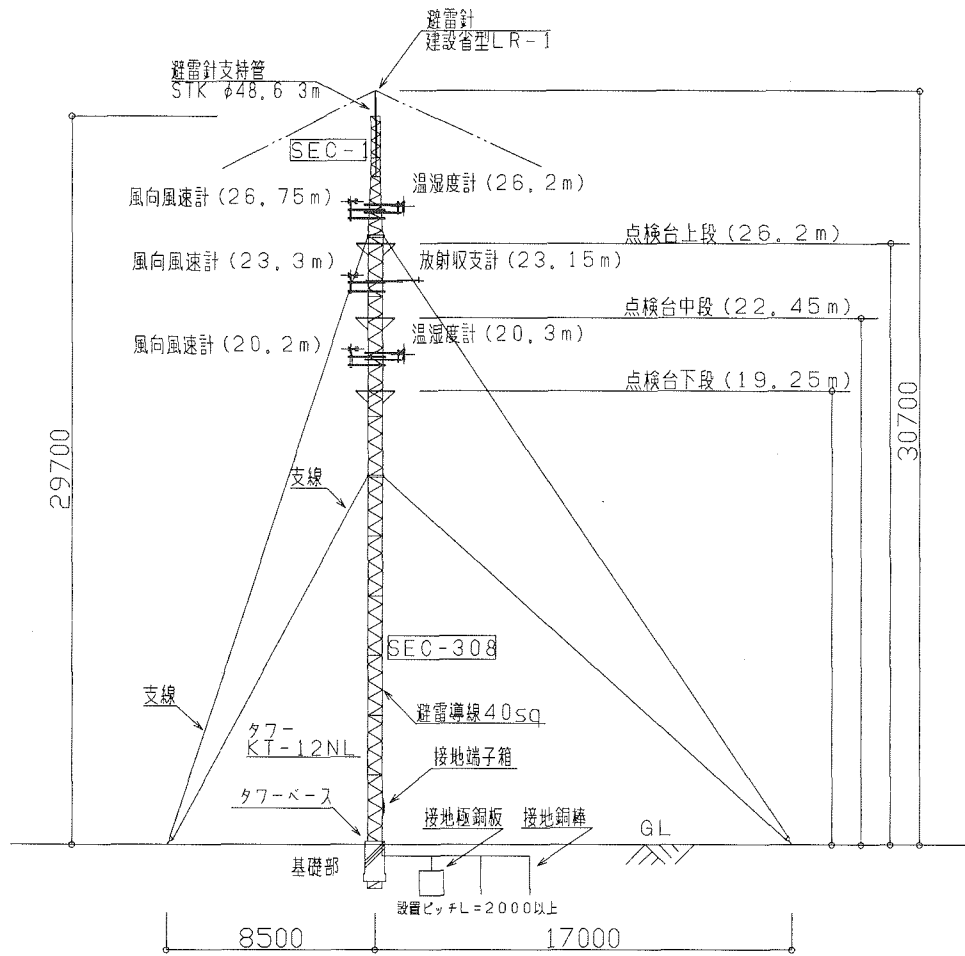
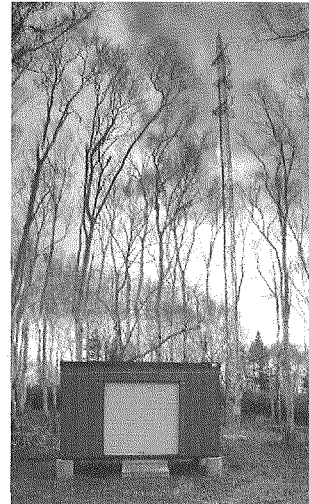


図 3.6 北進蒸発散量観測タワー設計図



遠景



近景

写真 3.2 北進蒸発散量観測タワー写真

3.3. 河川流量観測

河川流量観測については、2001年度に事前調査を実施して積雪寒冷地である幌延地区における河川流量観測手法の検討を行っている⁵⁾。また、2002年7月には研究所設置地区が北進地区に決定したことを受け、図3.3(a)に示す3流域を選定し2002年10月からP-1、P-2、P-3地点での観測を開始した⁶⁾。なお、2004年11月からは未観測であった研究所用地の北東部流域を包括するため、図3.3(b)に示すとおり観測流域をP-1流域からP-4流域へ変更するとともに、P-2流域をP-5流域に拡大して、P-3、P-4、P-5地点での観測に変更している。

河川流量の観測方法は、降雨時・融雪時の流量が大きくなることや、魚の溯上などに配慮して自然流路に水圧式水位計を設置し、観測水位を水位流量曲線式（以下、「H-Q曲線式」とする）で換算して連続的に算出する方法⁷⁾とした。河川流量観測システム模式図を図3.7に、設置例を写真3.3に示す。河川流量観測システムは、太陽電池パネルで外部バッテリーを充電して作動する。データロガーに10分間隔で取得されたデータは携帯電話通信で幌延深地層研究センターまで定期的に転送されるシステムである。本システムには電気伝導度センサーも併設して河川水の電気伝導度の変化も長期観測している。また、2003年9月には濁度計も併設して、長期安定性研究の侵食量推定のための基礎データ取得を目的として河川水濁度の長期観測も開始した。表3.4および図3.8には河川流量観測システム設置機器一覧および機器構成図を示す。

写真3.4～3.6には、各観測地点の河川流量観測状況を示す。

写真3.7には、使用している回転式流量計（三映式デジタル1型・2型）を示す。三映式デジタル1型は適用流速が0.3～3.5m/s、同2型は適用流速が0.05～0.7m/sである。また、2005年6月からは河川水深が10cm以下（3cm以上）の低水位の場合にプロペラ径（45mm）が小さい三映式デジタル3型（適用流速：0.03～0.50m/s）を使用している。なお、冬期は河川が結氷し管路流になりH-Q曲線式が適用できないため、回転式流速計を用いた河川流量観測（実測）を定期的に行い、実測流量から内挿・外挿することで結氷河川の流量を求めている。

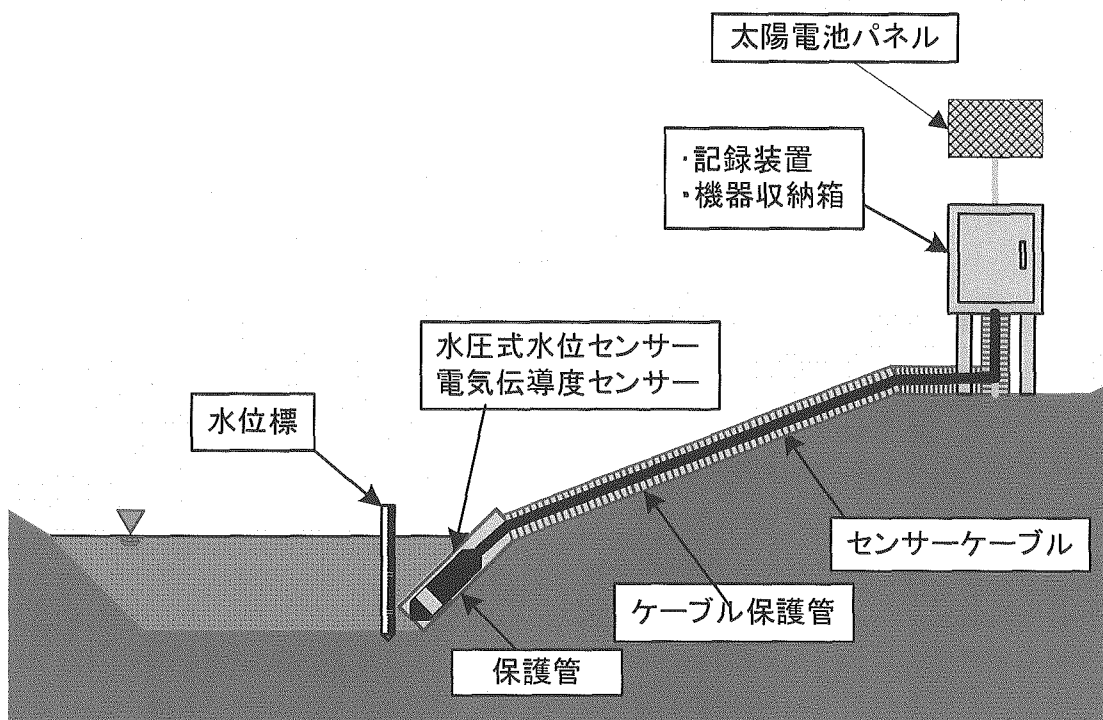


図 3.7 河川流量観測システム模式図



写真 3.3 河川流量観測システム設置例 (P-2 地点)

表 3.4 河川流量観測システム設置機器一覧

機器名称	型式	備考
記録計	KADEC21-U8-C	
センサー信号変換器	KDC-P5	
水圧式水位センサー	KDC-S10D	
電気伝導度コントローラ	CM-21P	
電気伝導度セル	CT-2711B	
太陽電池パネル	KDC-B15-GT136	
チャージコントローラ	KDC-B11-SS6L	
鉛シール蓄電池	KDC-B13-Y-EB35	
DC-DC コンバータ	—	
通信ユニット	KDC-CY	
携帯電話	D253i	2004年11月追加
濁度計コントローラ	TB-25A	2003年9月追加
濁度計センサー	TMS25A10	2003年9月追加

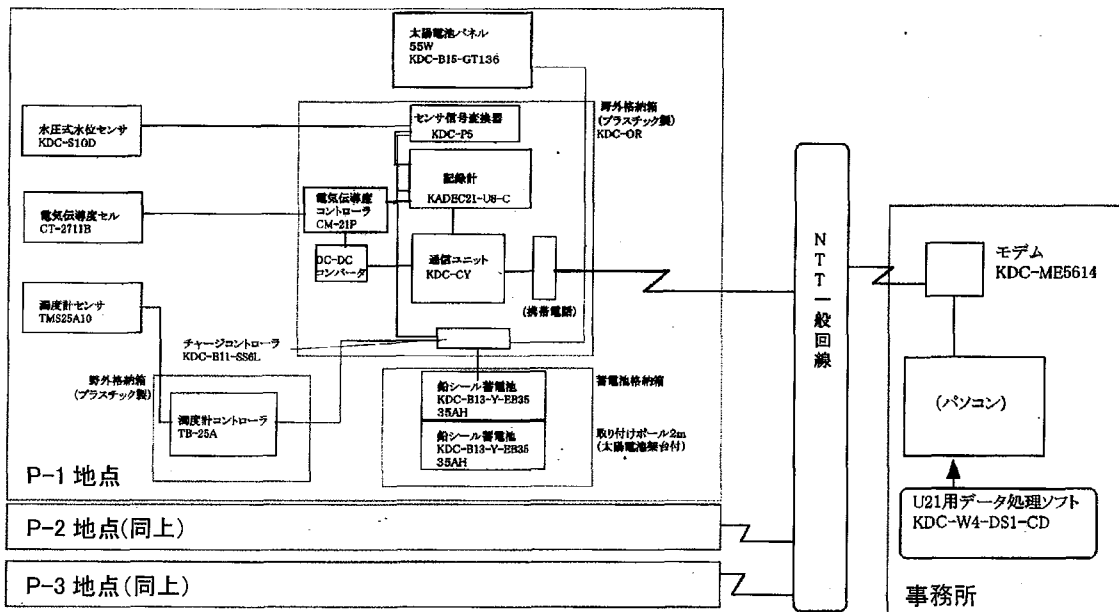


図 3.8 河川流量観測システム機器構成図



(a) 通常期 (2004年7月8日)



(b) 冬期 (2004年2月26日)

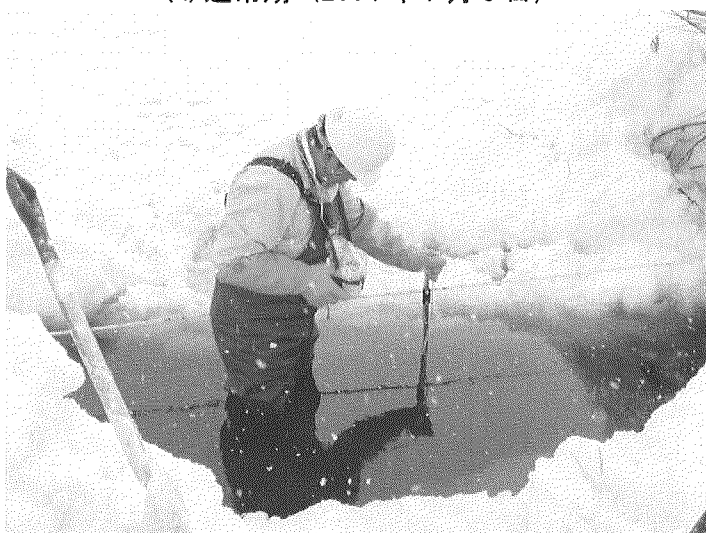


(c) 融雪期 (2004年4月8日)

写真 3.4 河川流量観測状況 (P-1 地点)



(a) 通常期 (2004年7月8日)



(b) 冬期 (2004年2月26日)



(c) 融雪期 (2004年4月8日)

写真 3.5 河川流量観測状況 (P-2 地点)



(a) 通常期 (2004年7月8日)



(b) 冬期 (2004年2月26日)

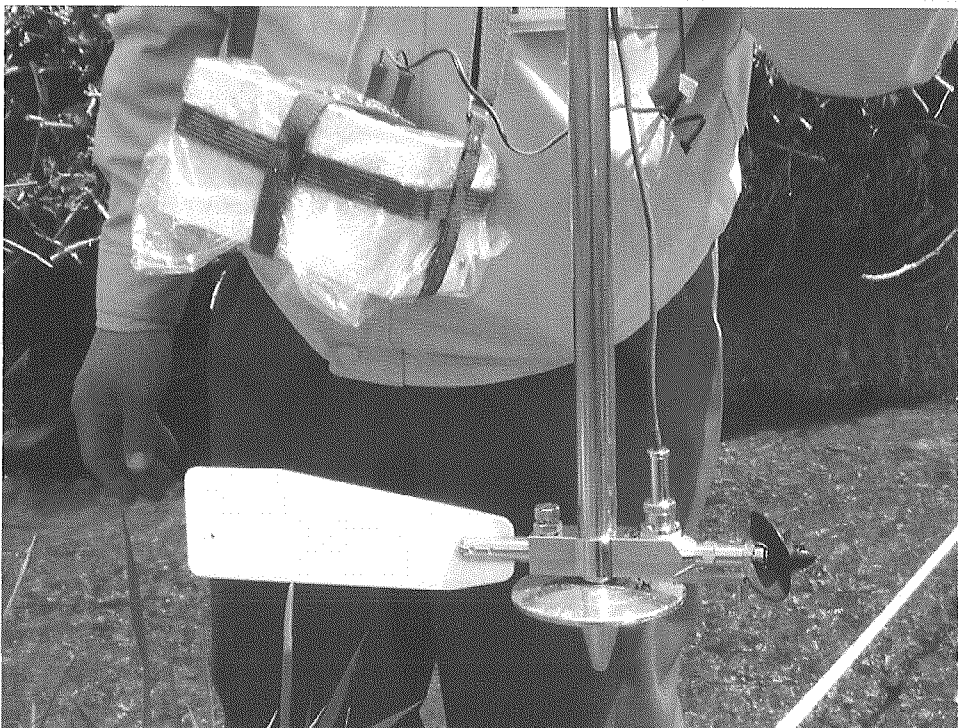


(c) 融雪期 (2004年4月8日)

写真 3.6 河川流量観測状況 (P-3 地点)



(a) 三映式デジタル1型・2型



(b) 三映式デジタル3型

写真 3.7 回転式流速計

4. 水収支法による地下水涵養量の推定

本報告では、水収支法の観測体制がほぼ整った2003年8月以降のデータを用い、積雪期を除く渇水期を区切りとする一水文単位とした期間となる2003年8月から2004年7月までの1年間の表層水理調査における観測データを用いて水収支法で地下水涵養量を試算することとした。図4.1には、当該1年間の豊富アメダス（気象庁観測地点）、北進気象観測所、幌延市街地気象観測所（以上サイクル機構観測地点）における降水量・積雪深の観測結果、北進気象観測所における蒸発散量の算定結果（算出方法は4.2参照）、および河川流量観測地点における河川流出高の算出結果を示した。また、参考として上記観測地点における日平均気温および日平均水温もあわせて示した。

蒸発散量は非積雪期には降雨や気温との相関が認められること、積雪期には値は極めて小さいが時折凝結していることなどがわかる。また、河川流出高に着目すると、積雪期には降雪が河川流出高に直接影響しないことや、雪解け時の河川流出高は年間を通して最大になること、渇水期や積雪期には約1ヶ月で河川流出高が0.5 mm/day程度まで小さくなることなどがいえる。また、降雨のピークと河川流出高のピークの関係性を例示した図4.2から、非積雪期における河川流出高のピークは降雨ピークの約3～8時間後に最大となることなどがわかる。

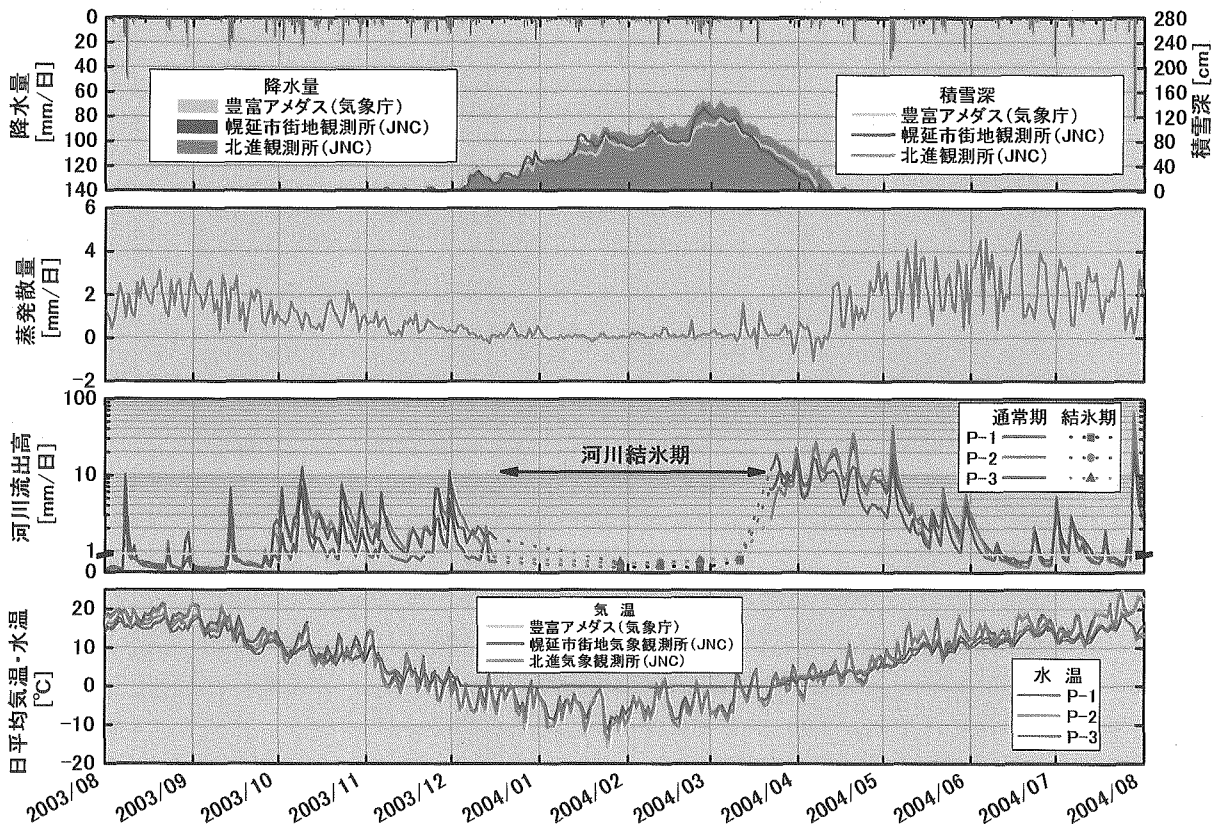


図 4.1 気象観測および河川流量観測結果

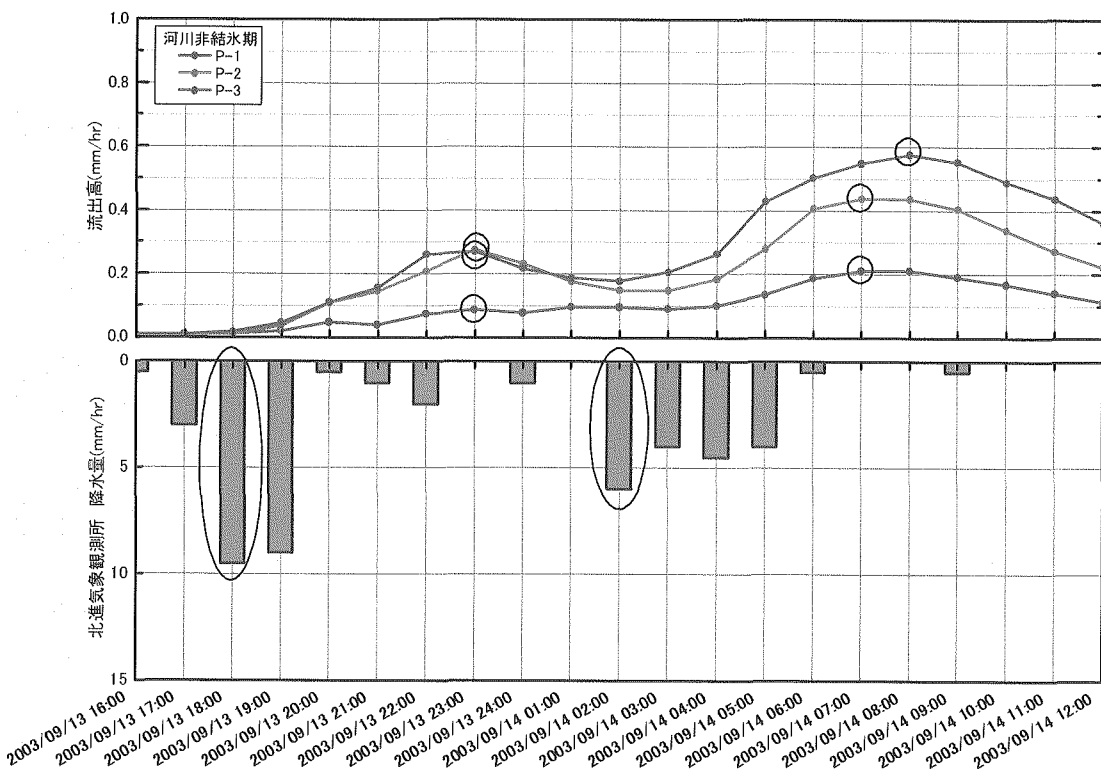
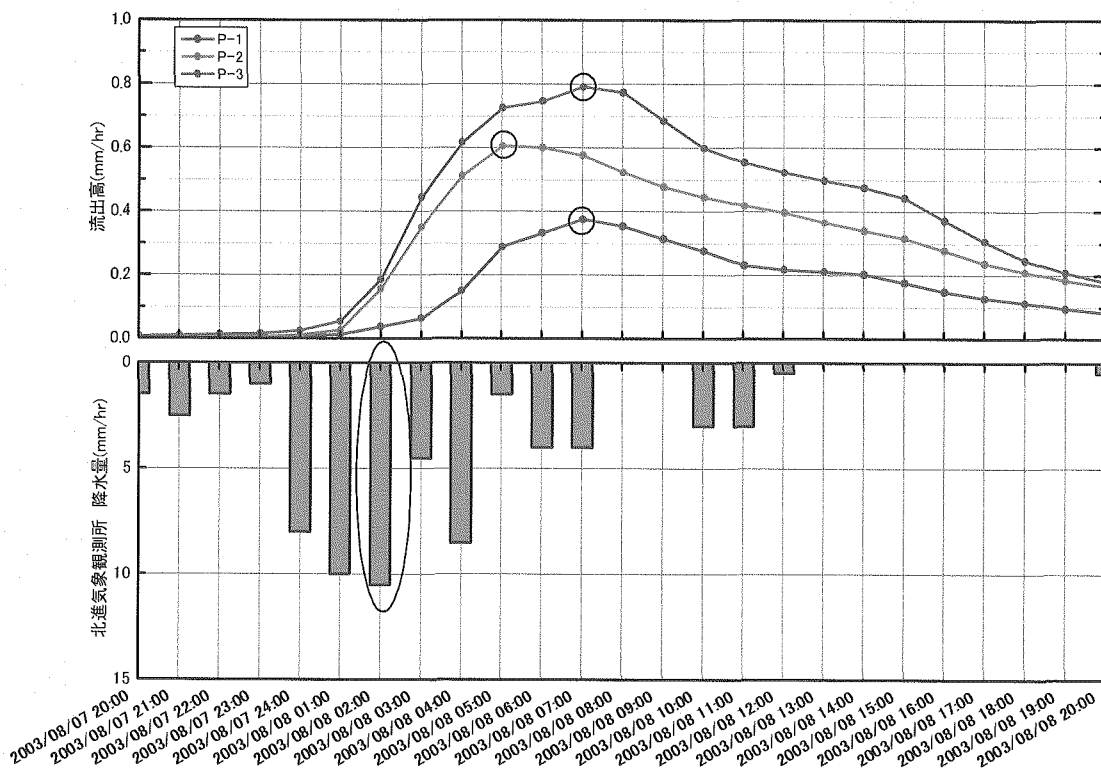


図 4.2(1) 降水量と河川流量高のピークの関係 (例)

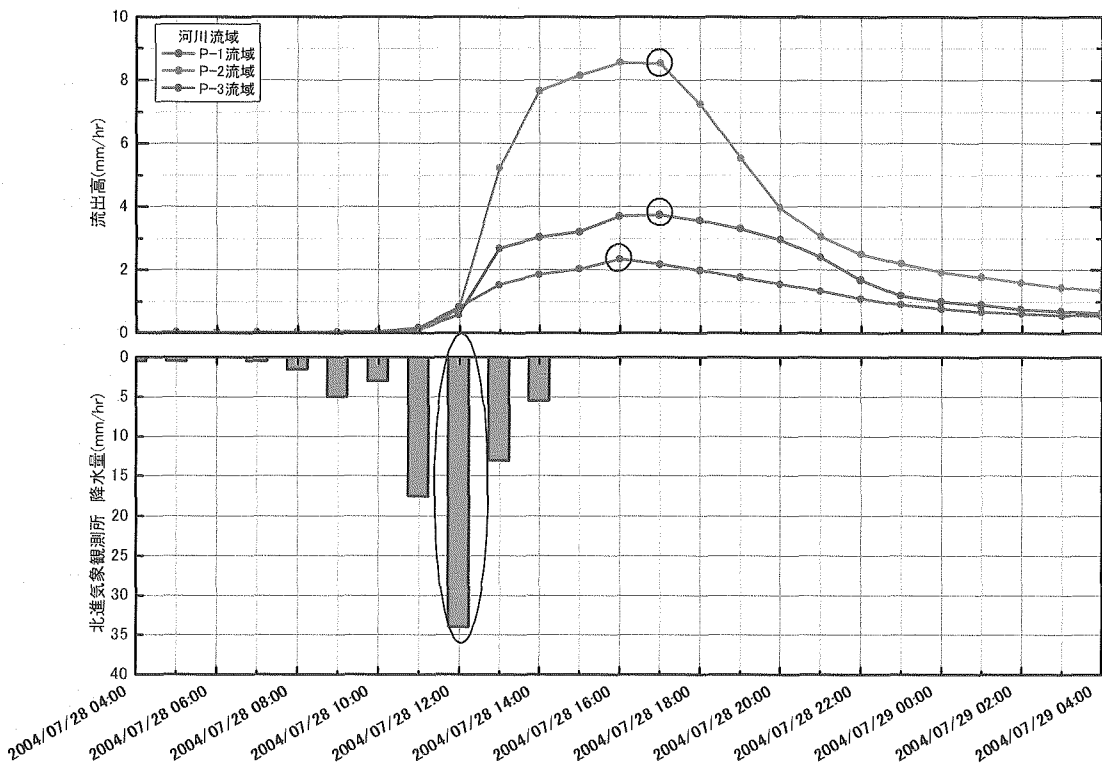
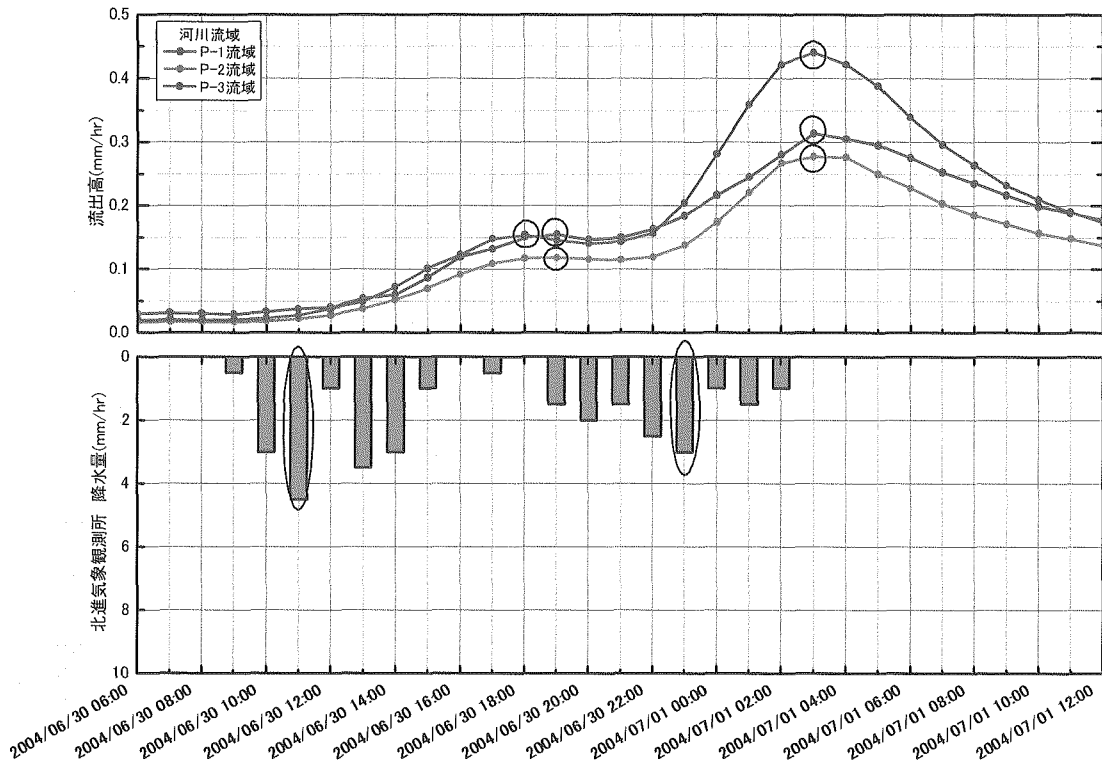


図 4.2(2) 降水量と河川流量高のピークの関係 (例)

4.1. 降水量

冬期の降水量は、通常用いられている雨量計では雪の捕捉率が低く降水量を過小評価することが知られている⁸⁾。そのため、冬期の降水量を正しく評価するために、北進気象観測所にはメタルウェファー式積雪重量計⁹⁾を設置している（写真 4.1）。



写真 4.1 メタルウェファー式積雪重量計（北進気象観測所）

ここで、2003 年度および 2004 年度の冬期降水量観測結果（積雪相当水量）について検討した結果を示す¹⁰⁾。北進気象観測所で観測に用いた気象測器はメタルウェファー式積雪重量計，転倒ます型雨量計，および izz 水式雨雪量計（2004 年積雪期以降）である。冬期の北進気象観測所の状況を写真 4.2 に示す。

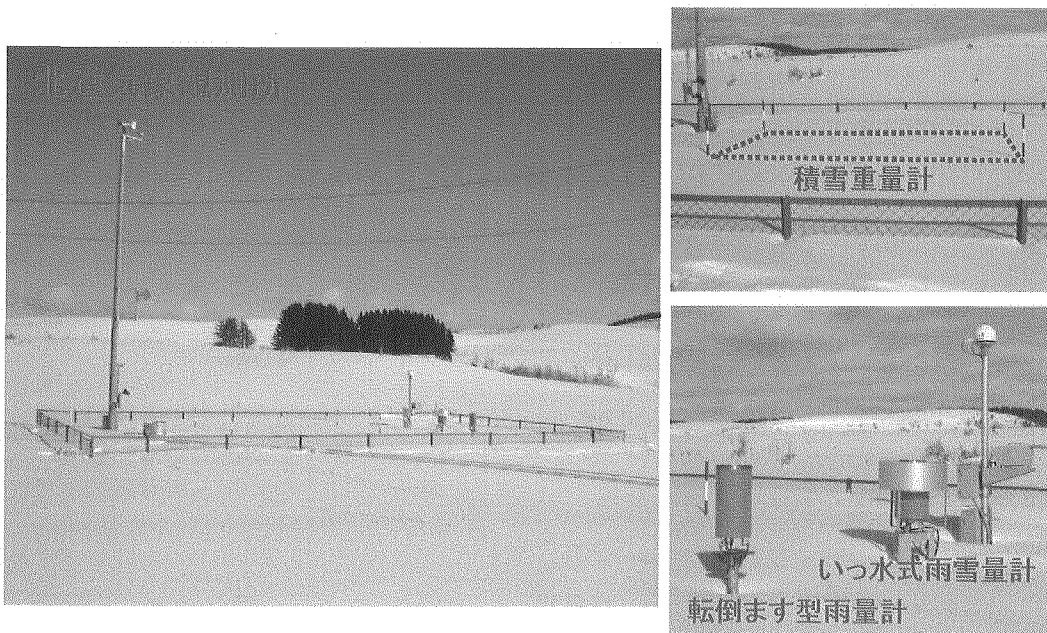


写真 4.2 冬期の北進気象観測所状況（2005 年 2 月）

メタルウェファー式積雪重量計で観測した積雪重量を、水の密度を 1g/cm^3 として積雪相当水量に換算し、1時間の差分を合計して日積雪相当水量を算出した。また、統計期間は根雪初日から積雪重量計の最大値が観測された日時までの2003年12月7日～2004年3月4日、2004年12月11日～2005年3月13日とした。気象測器毎の積雪相当水量および降水量を図4.3に、積雪期総降水量の比較を図4.4に示した。積雪重量計で観測した積雪相当水量は2003年積雪期には約700mm、2004年積雪期には約600mmであった。一方、転倒ます型雨量計の積算降水量は2003年積雪期が約150mm、2004年積雪期が80mm程度で、積雪相当水量に対してそれぞれ21%、13%の捕捉率であった。また、2004年積雪期からはいつ水式雨雪量計を用いた観測も開始し、積算雨量は約230mmであり積雪相当水量の38%程度であった。観測地点は風速が強い牧草地にあるため、雨(雪)量計の捕捉率が特に低いものと考えられる。このことから風速の強い積雪寒冷地において積雪期の降水量を計測する際には転倒ます型雨量計やいつ水式雨雪量計よりも積雪重量計が有効であるといえる。

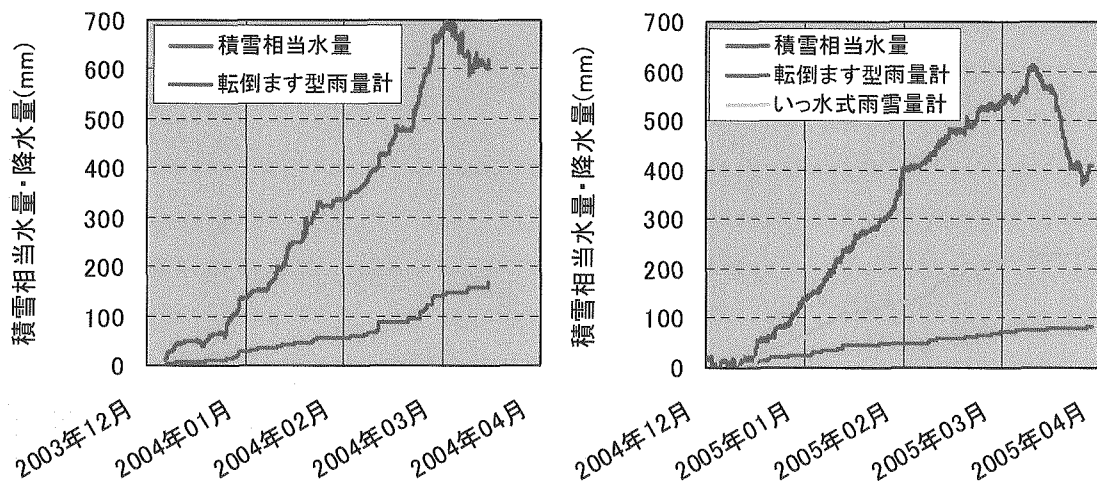


図 4.3 積雪相当水量および降水量 (2003 年度冬期, 2004 年度冬期)

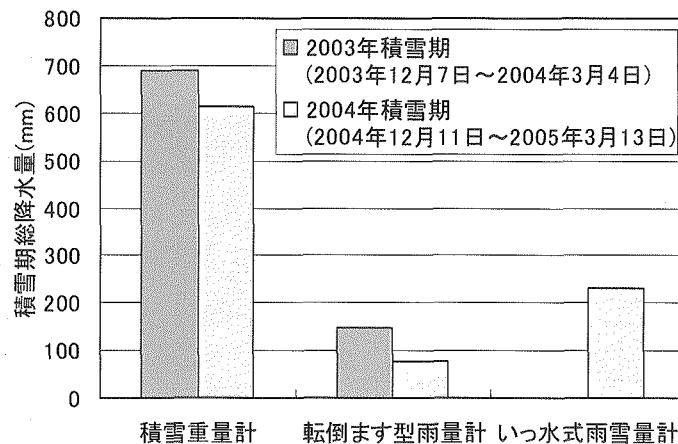


図 4.4 積雪期総降水量

検討の結果、当該1年間の水収支の算定に用いる降水量は、非積雪期には図4.1に示した北進気象観測所における雨量計で観測された結果を、また積雪期には積雪重量から換算した積雪相当水量を採用することとした。雨量計と積雪重量計で観測した月合計降水量を図4.5に示す。図中の赤線が水収支の算定に採用する降水量を示す。算定の結果、当該1年間の降水量の合計は約1,620mmであった。

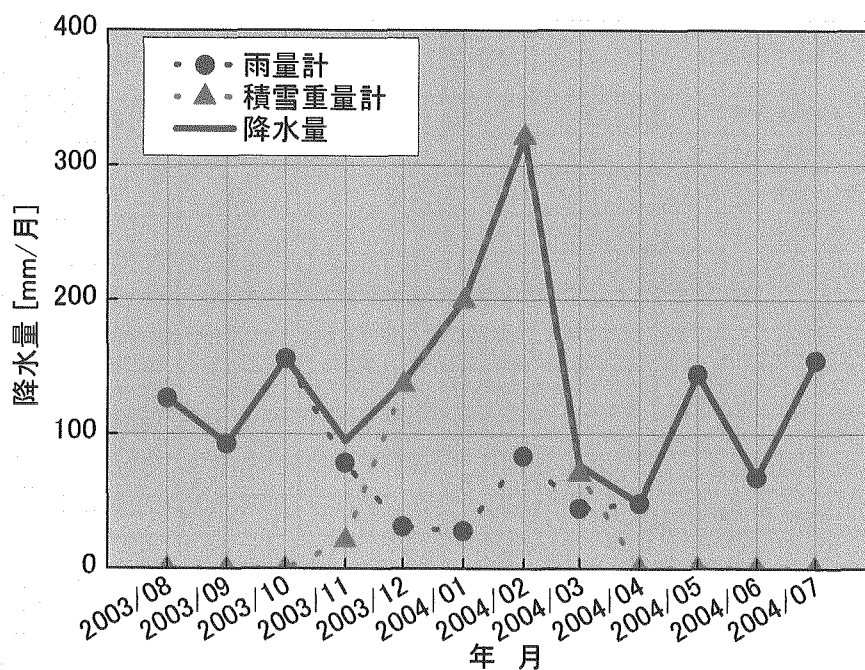


図 4.5 降水量測定結果（北進気象観測所）

4.2. 蒸発散量

研究所設置地区およびその周辺の流域特性として、積雪寒冷地でかつ牧草地と森林が混在していることが挙げられる。このような流域における蒸発散量推定手法の適用性について検討した結果を表 4.1 に示す。

表 4.1 蒸発散量推定手法の適用性⁴⁾

蒸発散量算定手法		① ペンマン法	② 傾度法	③ ボーエン比 熱収支法	④ バルク法	⑤ 渦相関法	⑥ ソーンズウ エイト法	⑦ ハーモン法
判定項目	a) データ管理の労力	○	△	○	△	×	○	○
	b) データ取得の容易性	△	×	×	△	△	○	○
	c) 地形の影響	○	○ ^{注1)}	△	○	×	○	○
	d) 冬季の計測	×	○	○	○	○	○	○
	e) 機器のメンテナンス	○	○	○	○	×	○	○
	f) 樹林での適用性	×	○	○	×	○	×	×
	g) 草地での適用性	○	○	○	×	○	×	×
	h) 雪面での計測	×	×	×	○	×	×	×
評価	広葉樹林への適用性評価	×	○ ^{注1)}	○	×	△	×	×
	牧草地への適用性評価	○	△	△	×	△	×	×
	積雪期での適用性評価	×	△	△	○	△	△	△

注1) 適用可能な起伏の小さい観測地点が設定できることが条件。

注2) f) 項が × の場合は適用しない。

注3) g) 項が × の場合は適用しない。

その結果、牧草地には水面や粗度の小さい地表面に対して利用できるペンマン法^{11),12)} (非積雪期) および水面や積雪面からの蒸発散量の測定に有効とされるバルク法^{13),14)} (積雪期) の適用性が高い。また、広葉樹林では樹冠上の蒸発散量を算出可能である傾度法^{12),15)} およびボーエン比熱収支法¹⁶⁾ の適用性が高いといえる。

このことから、北進気象観測所では牧草地を対象とした蒸発散量推定手法として適しているペンマン法 (非積雪期) とバルク法 (積雪期) を採用し、また、北進気象観測タワーでは広葉樹林を対象とした手法である傾度法およびボーエン比熱収支法を採用して観測機器を整備している。

ここで、2004 年度冬期の蒸発散量について牧草地と広葉樹林とで比較した結果について述べる¹⁷⁾。牧草地における主な気象観測要素は、気温、相対湿度、風速 (高さ 2m, 10m)、地表面温度、放射収支量、地中熱流量、気圧、積雪深である。蒸発散量の算出手法は平坦な積雪面上の蒸発散量の算出に有効であるバルク法を用いた。統計期間は積雪期の 2004 年 12 月 11 日から 2005 年 4 月 24 日までとした。なお、バルク係数は N. Ishikawa and Y. Kodama (1994)¹⁸⁾ から、北海道北部で求められた 2.3×10^{-3} を用いた。一方、広葉樹林の蒸発散量観測は、広葉樹林 (シラカバ林、樹高約 19m) 内に設置した北進蒸発散量観測タワー (高さ約 30m) で行った。観測している気象要素は、風速 (高さ

20m,23m,26m), 気温(高さ 20m,26m), 相対湿度(高さ 20m,26m), 放射収支量(高さ 23m), 地中熱流量(地中約 5cm)である。算出手法は樹冠上の蒸発散量算出に適するボーエン比熱収支法と傾度法を用いた。統計期間はバルク法と同様である。冬期蒸発散量の算出結果を図 4.6 に示す。

この結果, 牧草地における積雪期のバルク法による蒸発散量は 11.6mm であった。一方, 広葉樹林の蒸発散量はボーエン比熱収支法が 33.6mm, 傾度法が 31.5mm であった。牧草地と広葉樹林の蒸発散量を比較すると広葉樹林の方がやや大きくなっている。これらの結果から植生による蒸発散量の相違が確認されたが, 冬期は蒸発散量の絶対値が小さいため年間の水収支に与える影響は小さいと考えられる。今後, データを蓄積して年間を通したデータについて確認していく予定である。

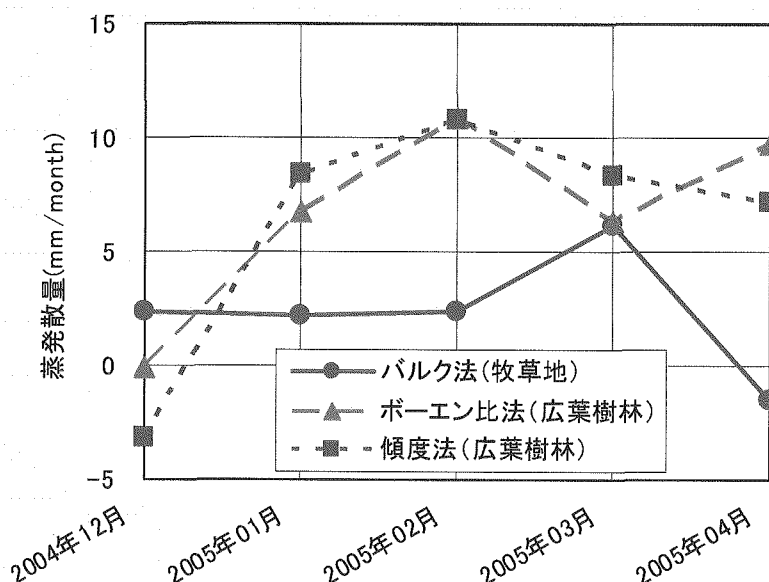


図 4.6 算出手法別の月別蒸発散量

さて, 当該期間の水収支法に用いる蒸発散量については, 広葉樹林を対象とした北進蒸発散量観測タワーでの観測を行っていないことから, 水収支法の算定に用いる蒸発散量は牧草地を対象とした北進気象観測所での観測結果を用いることとした。

北進気象観測所における気象観測結果から, 非積雪期にはペンマン法を, 積雪期にはバルク法を用いて蒸発散量を求めた。

ペンマン法は浅い水体表面からの蒸発量(可能蒸発散量)を計算する方法であるため, 算出した可能蒸発散量に一定の係数(蒸発散係数)を乗ずることで実蒸発散量が求められる。ここでは, 蒸発散係数として中尾(1971)¹⁹⁾から 0.65 を用いて実蒸発散量を算出した。その結果, 非積雪期(2003年8月1日~12月4日, 2004年4月12日~7月31日の概ね8ヶ月)の可能蒸発散量の合計は 615mm, 実蒸発散量は 400mm となった。また,

バルク法に用いるバルク係数は、N. Ishikawa and Y. Kodama (1994)¹⁸⁾から北海道北部で求められた 2.3×10^{-3} を用いた。その結果、積雪期（2003年12月4日から2004年4月12日の概ね4ヶ月）の蒸発散量は20mmとなった。図4.7には月合計蒸発散量を非積雪期と積雪期の手法別に示した。この結果、当該1年間の蒸発散量の合計は約420mmと算定された。

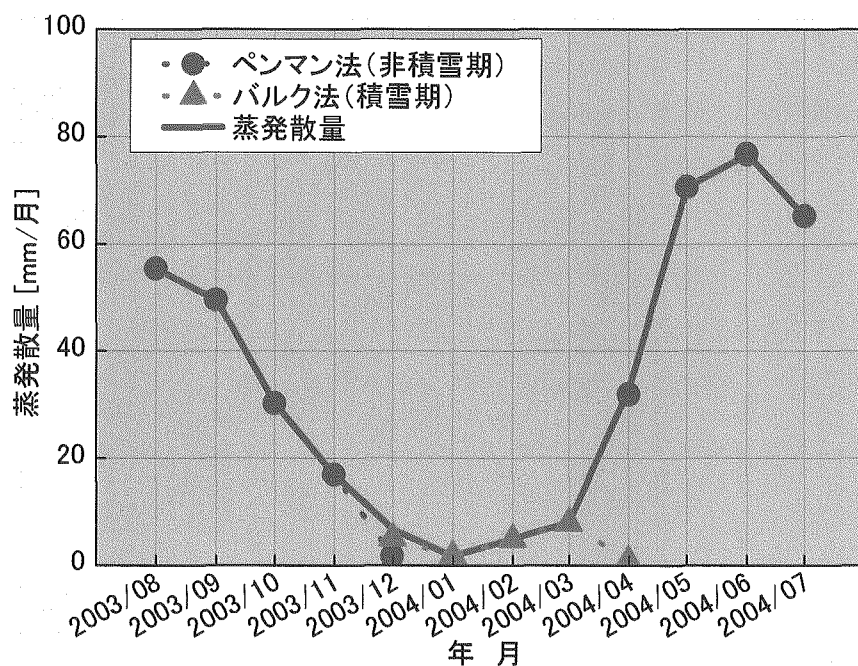


図 4.7 蒸発散量算出結果（北進観測所）

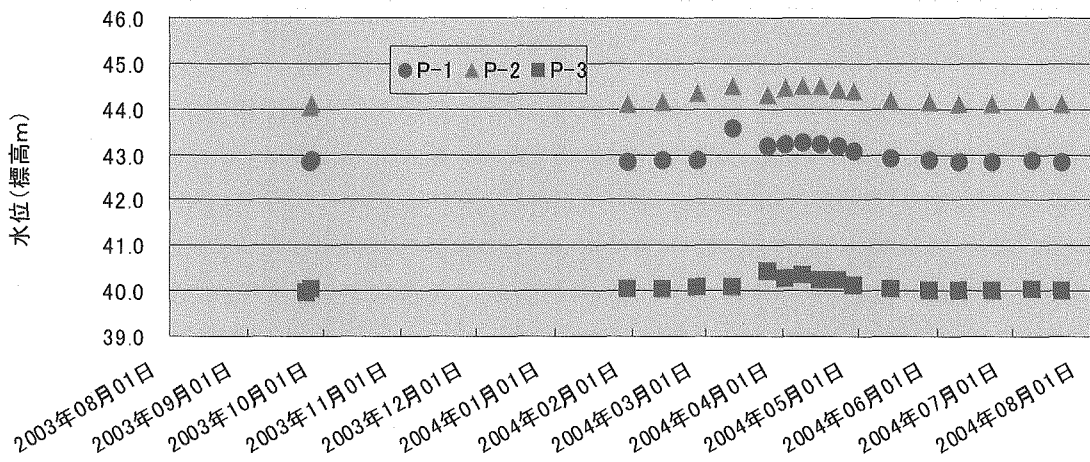
4.3. 河川流出高

図 4.8 には、回転式流速計を用いた河川流量観測結果を示す。この図から、河川流出高は、その値が大きい場合に若干の差はあるものの、変動は3流域でほぼ等しい傾向が認められる。河川流出高は河川流量を流域面積で除した値で、降水量と直接対比できる河川流出の特性値である。

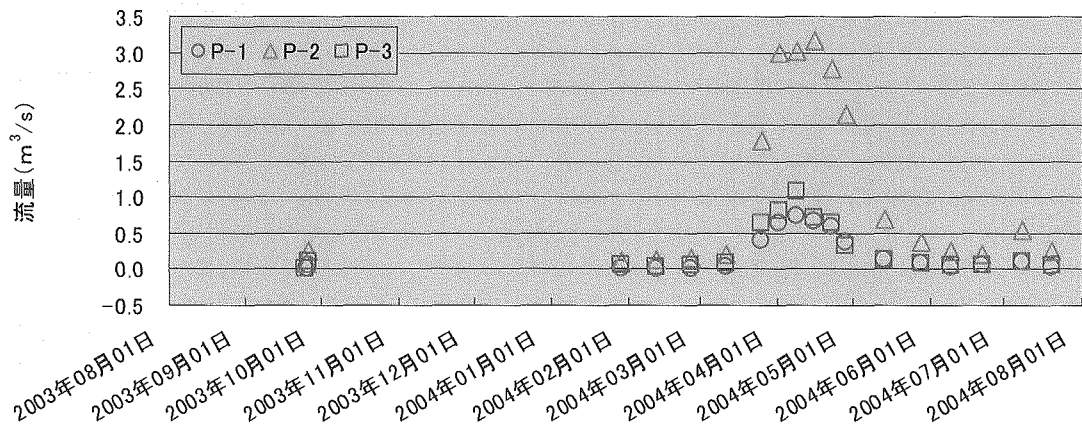
表 4.2 には、河川流量観測の結果から得られた H-Q 曲線式を示す。一般的に、H-Q 曲線式は自然河川では出水による河床変動の影響を受けることが多い。特に雪解け時の出水では河床形状が大きく変動するため、毎年、融雪出水のピークを境として H-Q 曲線式を変更している。なお、自然河川のうち特に低水路の河床変動は避けられないため、今後も観測を継続し H-Q 曲線式の精度を確保する必要がある。

河川流量観測システムで観測している水位と表 4.2 に示した H-Q 曲線式から河川流量を算出し、さらに流域面積で除して河川流出高を算出した。図 4.1 には P-1, P-2, P-3 流域毎の河川流出高（日合計値）を示した。また、図 4.9 には流域毎の月合計河川流出高と、3つの流域の流域面積（P-1:4.4km², P-2:19.7km², P-3:7.6km², 合計 31.7km²）を考慮して加重平均した河川流出高を示した。この結果、当該1年間の河川流出高は P-1, P-2, P-3 流域で各々約 970mm, 1,220mm, 860mm となり、流域面積（P-1:4.4km², P-2:19.7km², P-3:7.6km², 合計 31.7km²）を考慮した流出高の加重平均は約 1,100mm であった。

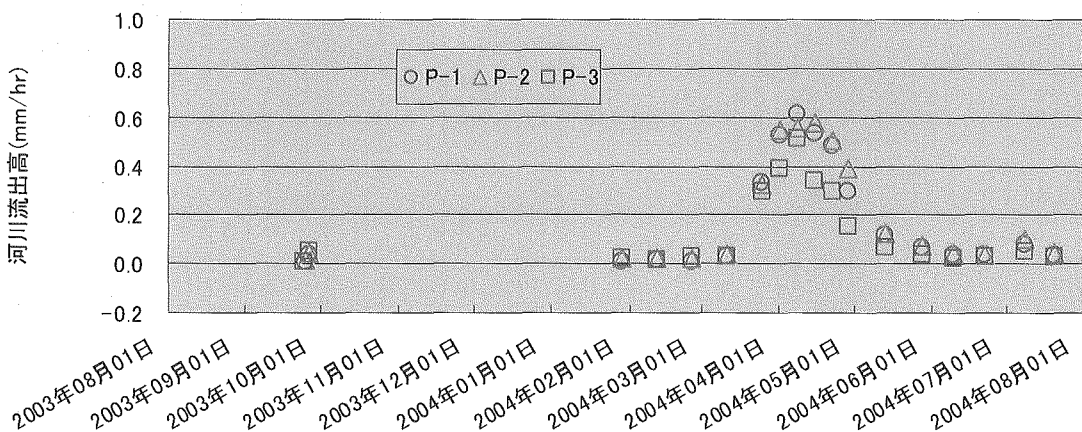
なお、当該1年間に観測した河川流量は P-1, P-2, P-3 流域で各々約 425 万 m³/年, 2,408 万 m³/年, 658 万 m³/年, また3流域の合計が 3,491 万 m³/年であった。



(a) 河川流量観測時の河川水位



(b) 河川流量観測時の河川流量



(c) 河川流量観測時の河川流出高

図 4.8 河川流量観測結果

表 4.2 H-Q 曲線式

	適用期間	地点	適用水位 (標高, m)	H-Q 曲線式 水位 H(標高, m) 流量 Q(m ³ /s)
＜参考＞ 2002 年度式	2002 年 10 月～ 2003 年 3 月	P-1	42.930m未満	$Q = 4.131(H-42.676)^2$
			42.930m以上	$Q = 2.463(H-42.601)^2$
		P-2	44.297m未満	$Q = 22.812(H-43.997)^2$
			44.297m以上	$Q = 2.126(H-43.315)^2$
		P-3	40.252m未満	$Q = 6.708(H-39.878)^2$
			40.252m以上	$Q = 1.785(H-39.527)^2$
2003 年度式	2003 年 3 月～ 2004 年 3 月	P-1	—	$Q = 2.388(H-42.741)^2$
			P-2	44.322m未満
		44.322m以上		$Q = 2.126(H-43.315)^2$
		P-3	40.240m未満	$Q = 8.190(H-39.907)^2$
			40.240m以上	$Q = 1.785(H-39.527)^2$
		2004 年度式	2004 年 3 月～ 2005 年 3 月※	P-1※
42.947m以上	$Q = 1.793(H-42.602)^2$			
P-2※	—			$Q = 13.633(H-43.992)^2$
P-3	40.070m未満			$Q = 8.882(H-39.927)^2$
	40.070m以上 40.320m未満			$Q = 4.959(H-39.880)^2$
	40.320m以上			$Q = 0.831(H-39.251)^2$

注) 河川結氷期間 (概ね 12 月下旬から 3 月下旬) は H-Q 曲線式の適用不可。

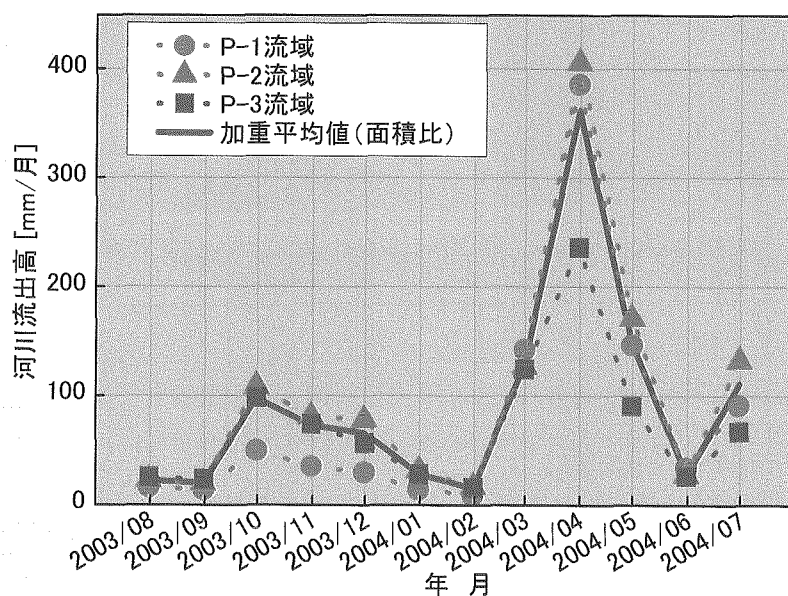


図 4.9 河川流出高算出結果

4.4. 地下水涵養量

研究所設置地区周辺流域の月別降水量，河川流出高，蒸発散量を集計し，各流域別の年間地下水涵養量を算出した（図 4.10，表 4.3）。この結果，当該 1 年間の地下水涵養量は P-1，P-2，P-3 の各流域で約 230mm，-20mm，340mm となり，P-1，P-3 流域は涵養域，P-2 流域は絶対値は小さいものの流出域を示す結果となった。また，これら流域全体の地下水涵養量は約 100mm と試算された。

表 4.3 より蒸発散量は年間降水量の 26%程度，河川流出高は 53~75%程度であることがわかる。また，地下水涵養量は-1.1~21%と流域ごとに大きく異なっている。これは，植生や地質などの流域特性を示しているのか現時点では不明であり，今後の重要な検討課題であるといえる。

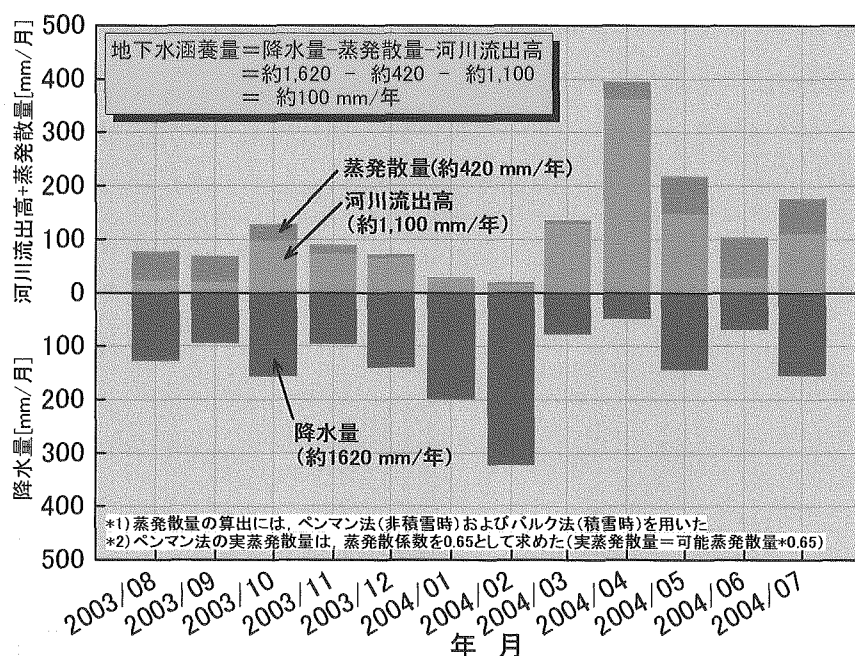


図 4.10 地下水涵養量算出結果

表 4.3 流域別地下水涵養量

流域	流域面積 (km ²)	降水量 (mm/y)	蒸発散量 (mm/y)	河川流出高 (mm/y)	地下水涵養量 (mm/y)	涵養域 流出域
P-1	4.405	1621	419 (25.8%)	965 (59.5%)	237 (14.6%)	涵養域
P-2	19.747			1220 (75.2%)	-17 (-1.1%)	流出域
P-3	7.647			860 (53.1%)	342 (21.1%)	涵養域
全流域	31.799			1098 (67.7%)	104 (6.4%)	涵養域

注) 下段括弧書きは降水量に対する割合。

5. おわりに

本報告では、幌延深地層研究計画における表層水理調査の一環として実施している水収支法の観測体制について述べ、1年間の取得データを用いて地下水涵養量を試算した結果を示した。

また、積雪寒冷地における水収支法の適用に際して、以下の技術的知見を得ることができた。

- ・積雪寒冷地における降水量の評価にあたっては、積雪相当水量の正確な把握が地下水涵養量算出の際に大きく影響してくるため、メタルウェファース式積雪重量計を用いて降水量の精度向上を図ることは極めて有用である。
- ・蒸発散量の算出にあたっては、気象条件や流域の植生に応じた適切な算出手法を用いることが重要であり、それらを考慮した気象観測設備の整備を行う必要がある。
- ・自然河川における河川流量の評価にあたっては、雪解け時や大雨の後などの水位変動が大きいことや河川形状の変動があることから河川流量観測（実測）を定期的に行い、水位流量（H-Q）曲線を適宜修正して水位の連続データから換算して求める河川流量の精度向上につとめることが重要である。
- ・冬期の結氷河川は管路流になることから連続データの取得が困難であるため、河川流量観測を計画的かつ定期的に実施することが必要である。

今後、P-1, P-2, P-3 流域で包括できていなかった研究所用地の北東部分の未観測流域について、河川流量観測システムの P-1, P-2 地点を P-4, P-5 地点に移設して 2004 年 11 月から新たに観測を開始したので、これらの結果を含めて検討を進めていく予定である。また、観測流域は大半が牧草地と森林であることから、森林からの蒸発散量を把握することが必要で、樹高約 20m のシラカバ林に設置した北進蒸発散量観測タワーで 2004 年 11 月から観測を開始したので、植生の影響も考慮して蒸発散量の検討を行なう予定である。

最後に表層水理調査の各種観測については、継続してデータを蓄積していくとともに、算定された地下水涵養量を地下水流動解析の上部境界条件やキャリブレーションデータとして反映させていく予定である。

参考文献

- 1) 日本地下水学会編：雨水浸透・地下水涵養，理工図書，pp.5-6 (2001).
- 2) 核燃料サイクル開発機構：“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ－ 分冊1 わが国の地質環境”，p.III-26 (1999).
- 3) 社団法人北海道土木協会：北海道河川一覧（平成7年改定），北海道土木部河川課監修 (1995).
- 4) 核燃料サイクル開発機構：“表層水理調査における流域特性を考慮した蒸発散量・降水量の追加測定地点の選定”，JNC TJ5400 2004-001 (2004).
- 5) 核燃料サイクル開発機構：“幌延深地層研究所計画における表層水理調査”，JNC TJ1410 2001-005 (2002).
- 6) 核燃料サイクル開発機構：“表層水理定数取得のための河川流量調査”，JNC TJ1440 2002-001 (2003).
- 7) 建設省水文研究会：水文観測，社団法人全日本建設技術協会 (1996).
- 8) 横山宏太郎，大野宏之，小南靖弘，井上 聡，川方俊和：“冬期における降水量計の捕捉特性”，日本雪氷学会誌 雪氷，65 卷3号，pp.303-316 (2003).
- 9) 木村忠志：“Metal Wafer による積雪相当水量の観測”，国立防災科学技術センター研究報告，No.31，pp.203-217 (1983).
- 10) 瀬尾昭治，久保田敬二，小林利章：“北海道北部における積雪重量計を用いた積雪相当水量の観測”，2005年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集 (2005).
- 11) H. L. Penman：“Natural evaporation from open water, bare soil and grass”，Royal Society, Series A, 193, p.120-145 (1948).
- 12) 服部重昭：“蒸発散推定式の誘導過程の解説と林分への適用における問題点”，林試研報，No.332，p.139-165 (1985).
- 13) 近藤純正：水環境の気象学 地表面の水収支・熱収支，朝倉書店 (1994).
- 14) H. Nakabayashi, Y. Kodama, Y. Takeuchi, T. Ozeki and N. Ishikawa “Characteristics of heat balance during the snowmelt season in Ny-Alesund, Spitsbergen Island”, Mem. Natl. Inst. Polar Res. No.51, p.255-266. (1996).
- 15) 山本荘毅：新版 地下水調査法，初版，古今書院，pp.297 (1983).
- 16) 塚本良則：森林水文学，初版，文永堂出版，p.61-68 (1992).
- 17) 久保田敬二，瀬尾昭治，小林利章：“北海道北部における積雪期の蒸発散量の観測”，2005年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集 (2005).
- 18) N. Ishikawa and Y. Kodama：“Transfer coefficients of sensible heat on a snowmelt surface”，Meteor. Atmos. phy., 53, pp.233-240 (1994).
- 19) 中尾欣四郎：“湖沼水位の安定性についての研究”，北海道大学地球物理学研究報告，25, pp.25-87 (1971).

付 録

1. 地下水涵養量算出データ
2. 蒸発散量算出手法
3. 河川流量観測データ

1. 地下水涵養量算出データ

付表 1.1 水収支法地下水涵養量算出データ年表 (2003年8月～2004年7月)

年月	雨量 (mm/month)		蒸発散量 (mm/month)			河川流出高 (mm/month)						地下水涵養量 (mm/month)				参考値			
	雨量計	積雪相当 水量 (時間 差分合計)	採用雨量 ①	非積雪期 ペンマン法	積雪期 バルク法	採用 蒸発散量 ②	H-Q曲線式から求めた 河川流出高 (mm/month)			採用河川流出高③			①-②-③				平均気温 (°C)	最大積雪深 (cm)	
							P-1 流域	P-2 流域	P-3 流域	P-1 流域	P-2 流域	P-3 流域	P-1流域	P-2流域	P-3流域	全流域			
2003/08	127.0	—	127.0	55.5	—	55.5	15.9	22.2	24.8	15.9	22.2	24.8	22.0	55.6	49.2	46.7	49.5	18.0	0.0
2003/09	93.0	—	93.0	49.6	—	49.6	13.6	19.9	22.9	13.6	19.9	22.9	19.7	29.8	23.5	20.6	23.7	14.3	0.0
2003/10	156.0	—	156.0	30.3	—	30.3	49.4	108.4	98.0	49.4	108.4	98.0	97.7	76.2	17.3	27.6	27.9	8.9	0.0
2003/11	78.5	21.0	95.0	16.9	—	16.9	35.2	81.0	73.9	35.2	81.0	73.9	72.9	42.9	-2.9	4.2	5.2	3.0	3.0
2003/12	31.0	137.0	138.5	1.6	5.1	6.7	26.7	52.3	59.2	29.5	77.7	56.2	65.9	102.3	54.1	75.6	65.9	-3.4	61.0
2004/01	28.0	199.0	199.0	—	1.7	1.7	19.0	55.7	61.0	13.8	31.3	27.7	28.0	183.5	166.0	169.6	169.3	-6.9	101.0
2004/02	83.5	321.0	321.0	—	4.8	4.8	18.2	97.4	58.9	9.2	16.6	15.3	15.3	306.9	299.6	300.9	300.9	-4.9	145.0
2004/03	44.5	36.0	76.5	—	7.8	7.8	438.5	277.4	398.6	141.9	126.8	123.7	128.2	-73.1	-88.1	-55.0	-59.4	-2.1	144.0
2004/04	48.5	—	48.5	32.2	0.8	33.0	385.9	405.8	235.4	385.9	405.8	235.4	362.1	-370.5	-390.3	-219.9	-346.6	3.2	51.0
2004/05	144.0	—	144.0	70.6	—	70.6	146.2	170.9	89.9	146.2	170.9	89.9	148.0	-72.8	-97.6	-16.5	-74.7	11.3	0.0
2004/06	68.0	—	68.0	76.7	—	76.7	33.4	27.1	25.6	33.4	27.1	25.6	27.6	-42.1	-85.8	-34.3	-36.3	14.8	0.0
2004/07	154.5	—	154.5	65.2	—	65.2	90.8	131.8	66.9	90.8	131.8	66.9	110.5	-1.5	-42.5	22.4	-21.2	17.3	0.0
年合計	1066.5	714.0	1621.0	398.7	20.2	418.9	—	—	—	964.9	1219.5	860.3	1097.9	237.2	-17.4	341.8	104.2	6.1	145.0

付表 1.2 水収支法地下水涵養量算出データ月表 (2003 年 8 月)

年月日	雨量 (mm/day)				蒸発量 (mm/day)			河川流出高 (mm/day)						参考値					
	雨量計	積雪相当水量 (累積) (mm)	積雪相当水量 (時間差分合計)	採用雨量	非積雪期ペンマン法	積雪期ハルク法	採用蒸発量	H-Q曲線式から求めた河川流出高 (mm/day)			流量観測河川流出高			採用河川流出高	加算平均	平均気温 (°C)	最大積雪深 (cm)		
								P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3					P-1	P-2
2003/08/01	0.5			0.5	1.233		1.233	0.072	0.106	0.196				0.072	0.106	0.196	0.123	17.7	
2003/08/02	1.0			1.0	0.962		0.962	0.063	0.096	0.194				0.063	0.096	0.194	0.115	18.3	
2003/08/03	5.5			5.5	0.428		0.428	0.091	0.148	0.302				0.091	0.148	0.302	0.177	17.6	
2003/08/04	1.5			1.5	0.892		0.892	0.119	0.209	0.308				0.119	0.209	0.308	0.220	18.6	
2003/08/05	0.0			0.0	1.776		1.776	0.085	0.159	0.232				0.085	0.159	0.232	0.166	19.1	
2003/08/06	0.0			0.0	2.463		2.463	0.053	0.085	0.176				0.053	0.085	0.176	0.102	19.2	
2003/08/07	16.0			16.0	1.792		1.792	0.055	0.082	0.192				0.055	0.082	0.192	0.105	18.3	
2003/08/08	50.5			50.5	0.959		0.959	4.079	7.733	9.970				4.079	7.733	9.970	7.765	19.4	
2003/08/09	0.0			0.0	2.004		2.004	0.982	1.751	1.540				0.982	1.751	1.540	1.594	17.8	
2003/08/10	5.5			5.5	1.166		1.166	0.707	0.973	0.839				0.707	0.973	0.839	0.904	16.1	
2003/08/11	2.0			2.0	0.971		0.971	0.771	1.101	1.156				0.771	1.101	1.156	1.069	19.4	
2003/08/12	0.0			0.0	2.530		2.530	0.615	0.899	0.677				0.615	0.899	0.677	0.682	17.8	
2003/08/13	0.5			0.5	1.820		1.820	0.580	0.510	0.467				0.580	0.510	0.467	0.509	16.0	
2003/08/14	0.0			0.0	2.712		2.712	0.549	0.404	0.369				0.549	0.404	0.369	0.416	15.7	
2003/08/15	0.0			0.0	2.179		2.179	0.518	0.336	0.312				0.518	0.336	0.312	0.355	17.3	
2003/08/16	0.0			0.0	1.668		1.668	0.505	0.301	0.286				0.505	0.301	0.286	0.326	17.0	
2003/08/17	0.0			0.0	1.542		1.542	0.475	0.263	0.265				0.475	0.263	0.265	0.293	17.5	
2003/08/18	0.0			0.0	2.308		2.308	0.419	0.228	0.263				0.419	0.228	0.263	0.263	19.6	
2003/08/19	0.0			0.0	2.376		2.376	0.396	0.209	0.234				0.396	0.209	0.234	0.241	19.1	
2003/08/20	0.0			0.0	3.114		3.114	0.386	0.187	0.214				0.386	0.187	0.214	0.221	19.4	
2003/08/21	0.0			0.0	1.923		1.923	0.370	0.166	0.211				0.370	0.166	0.211	0.205	20.7	
2003/08/22	8.5			8.5	1.206		1.206	0.376	0.198	0.258				0.376	0.198	0.258	0.237	20.8	
2003/08/23	10.5			10.5	1.000		1.000	0.775	1.340	1.065				0.775	1.340	1.065	1.196	16.5	
2003/08/24	0.0			0.0	2.646		2.646	0.346	0.431	0.387				0.346	0.431	0.387	0.409	14.0	
2003/08/25	0.0			0.0	1.514		1.514	0.272	0.295	0.307				0.272	0.295	0.307	0.295	17.2	
2003/08/26	0.0			0.0	2.432		2.432	0.215	0.240	0.241				0.215	0.240	0.241	0.237	16.6	
2003/08/27	0.0			0.0	2.691		2.691	0.192	0.198	0.211				0.192	0.198	0.211	0.200	17.4	
2003/08/28	0.5			0.5	1.337		1.337	0.200	0.184	0.206				0.200	0.184	0.206	0.192	16.9	
2003/08/29	24.5			24.5	1.012		1.012	0.517	1.303	1.370				0.517	1.303	1.370	1.210	17.7	
2003/08/30	0.0			0.0	1.894		1.894	0.796	1.724	1.756				0.796	1.724	1.756	1.603	18.0	
2003/08/31	0.0			0.0	2.971		2.971	0.305	0.573	0.547				0.305	0.573	0.547	0.530	20.4	
月合計	127.0			0.0	55.5		55.5	15.9	22.2	24.8				15.9	22.2	24.8	22.0	18.0	0.0

付表 1.3 水収支法地下水涵養量算出データ月表 (2003年9月)

年月日	雨量 (mm/day)			蒸発量 (mm/day)			河川流出高 (mm/day)						参考値						
	雨量計	積雪相当水量 (累積) (mm)	積雪相当水量 (時間差分合計)	採用雨量	非積雪期ペンマン法	積雪期ハルク法	採用蒸発量	H-Q曲線式から求めた河川流出高 (mm/day)			流量観測河川流出高			採用河川流出高	加重平均	平均気温 (°C)	最大積雪深 (cm)		
								P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3					P-1	P-2
2003/09/01	0.0			0.0	2.548		2.548	0.216	0.377	0.373				0.216	0.377	0.373	0.354	21.0	
2003/09/02	0.0			0.0	2.065		2.065	0.178	0.296	0.282				0.178	0.296	0.282	0.276	20.7	
2003/09/03	0.0			0.0	1.989		1.989	0.168	0.267	0.261				0.168	0.267	0.261	0.252	20.2	
2003/09/04	0.0			0.0	1.345		1.345	0.193	0.249	0.228				0.193	0.249	0.228	0.236	14.7	
2003/09/05	1.0			1.0	1.801		1.801	0.202	0.238	0.221				0.202	0.238	0.221	0.229	13.0	
2003/09/06	0.5			0.5	2.527		2.527	0.168	0.231	0.273				0.168	0.231	0.273	0.232	14.5	
2003/09/07	0.0			0.0	2.653		2.653	0.189	0.192	0.192				0.189	0.192	0.192	0.192	14.8	
2003/09/08	0.0			0.0	1.191		1.191	0.176	0.184	0.218				0.176	0.184	0.218	0.191	14.7	
2003/09/09	0.0			0.0	1.723		1.723	0.180	0.179	0.202				0.180	0.179	0.202	0.185	14.2	
2003/09/10	2.5			2.5	0.320		0.320	0.168	0.171	0.245				0.168	0.171	0.245	0.188	15.8	
2003/09/11	0.0			0.0	2.904		2.904	0.173	0.184	0.263				0.173	0.184	0.263	0.201	20.5	
2003/09/12	0.0			0.0	2.503		2.503	0.134	0.127	0.173				0.134	0.127	0.173	0.139	18.2	
2003/09/13	26.5			26.5	0.695		0.695	0.460	1.103	1.202				0.460	1.103	1.202	1.038	16.2	
2003/09/14	19.5			19.5	2.301		2.301	2.412	4.816	6.560				2.412	4.816	6.560	4.902	17.9	
2003/09/15	0.0			0.0	2.208		2.208	0.756	1.194	1.221				0.756	1.194	1.221	1.140	11.7	
2003/09/16	0.0			0.0	2.843		2.843	0.589	0.739	0.674				0.589	0.739	0.674	0.703	14.2	
2003/09/17	3.0			3.0	0.779		0.779	0.574	0.673	0.617				0.574	0.673	0.617	0.646	16.6	
2003/09/18	0.0			0.0	1.589		1.589	0.484	0.528	0.474				0.484	0.528	0.474	0.509	13.9	
2003/09/19	0.0			0.0	0.279		0.279	0.456	0.458	0.400				0.456	0.458	0.400	0.444	10.1	
2003/09/20	0.5			0.5	1.260		1.260	0.529	0.473	0.374				0.529	0.473	0.374	0.457	9.7	
2003/09/21	3.5			3.5	2.128		2.128	0.518	0.439	0.375				0.518	0.439	0.375	0.435	9.6	
2003/09/22	0.0			0.0	1.704		1.704	0.453	0.356	0.372				0.453	0.356	0.372	0.373	8.8	
2003/09/23	0.0			0.0	2.177		2.177	0.409	0.310	0.367				0.409	0.310	0.367	0.337	9.3	
2003/09/24	0.0			0.0	2.109		2.109	0.373	0.276	0.310				0.373	0.276	0.310	0.298	10.0	
2003/09/25	0.5			0.5	0.755		0.755	0.293	0.252	0.284				0.293	0.252	0.284	0.265	12.7	
2003/09/26	13.0			13.0	0.596		0.596	0.689	1.022	0.939				0.689	1.022	0.939	0.956	14.2	
2003/09/27	0.0			0.0	1.084		1.084	0.469	0.700	0.582				0.469	0.700	0.582	0.640	12.6	
2003/09/28	3.5			3.5	1.717		1.717	0.305	0.442	0.416				0.305	0.442	0.416	0.417	13.3	
2003/09/29	15.5			15.5	0.621		0.621	0.872	1.757	2.194				0.872	1.757	2.194	1.739	13.1	
2003/09/30	3.5			3.5	1.156		1.156	0.859	1.652	2.562				0.859	1.652	2.562	1.761	12.3	
月合計	93.0		0.0	93.0	49.6	0.0	49.6	13.6	19.9	22.9				13.6	19.9	22.9	19.7	14.3	0.0

付表 1.4 水収支法地下水涵養量算出データ月表 (2003年10月)

年月日	雨量 (mm/day)			蒸発量 (mm/day)			河川流出高 (mm/day)						参考値			
	雨量計	積雪相当 水量(累積) (mm)	積雪相当 水量 (時間差分合計)	採用雨量	蒸発量		流量観測河川流出高			採用河川流出高			平均気温 (°C)	最大積雪深 (cm)		
					非積雪期 ペンマン法	積雪期 ハルク法	採用 蒸発量	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2			P-3	加算平均
2003/10/01	3.0			3.0	0.844		0.844	0.630	1.167	2.105		0.630	1.167	2.105	1.318	10.6
2003/10/02	15.0			15.0	0.784		0.784	1.715	4.106	6.819		1.715	4.106	6.819	4.427	10.7
2003/10/03	2.0			2.0	0.619		0.619	1.058	2.663	2.423		1.058	2.663	2.423	2.383	6.8
2003/10/04	2.5			2.5	0.833		0.833	0.959	1.963	1.753		0.959	1.963	1.753	1.773	5.9
2003/10/05	1.0			1.0	1.648		1.648	0.726	1.467	1.335		0.726	1.467	1.335	1.333	7.9
2003/10/06	11.0			11.0	1.255		1.255	1.240	2.401	2.771		1.240	2.401	2.771	2.329	8.3
2003/10/07	8.0			8.0	1.232		1.232	0.980	2.061	2.759		0.980	2.061	2.759	2.079	10.2
2003/10/08	13.5			13.5	0.837		0.837	4.005	6.863	5.482		4.005	6.863	5.482	6.135	12.5
2003/10/09	22.5			22.5	0.386		0.386	7.008	10.292	12.632		7.008	10.292	12.632	10.400	11.9
2003/10/10	1.0			1.0	1.136		1.136	3.078	7.763	5.604		3.078	7.763	5.604	6.595	14.2
2003/10/11	0.5			0.5	1.017		1.017	1.745	4.807	2.562		1.745	4.807	2.562	3.843	15.9
2003/10/12	0.0			0.0	0.538		0.538	1.263	3.392	1.692		1.263	3.392	1.692	2.688	9.4
2003/10/13	7.5			7.5	0.510		0.510	1.088	2.768	1.498		1.088	2.768	1.498	2.230	6.6
2003/10/14	10.0			10.0	0.417		0.417	1.507	3.265	2.624		1.507	3.265	2.624	2.867	5.2
2003/10/15	0.5			0.5	0.642		0.642	1.473	3.311	3.092		1.473	3.311	3.092	3.004	7.1
2003/10/16	1.5			1.5	0.344		0.344	1.207	2.686	2.160		1.207	2.686	2.160	2.355	6.1
2003/10/17	0.5			0.5	0.911		0.911	1.049	2.203	1.863		1.049	2.203	1.863	1.961	5.5
2003/10/18	5.0			5.0	1.614		1.614	0.869	1.929	1.455		0.869	1.929	1.455	1.668	8.8
2003/10/19	5.0			5.0	1.732		1.732	1.008	2.525	1.963		1.008	2.525	1.963	2.180	8.0
2003/10/20	0.0			0.0	1.270		1.270	1.058	2.146	1.939		1.058	2.146	1.939	1.946	6.0
2003/10/21	0.0			0.0	1.008		1.008	0.862	1.740	1.379		0.862	1.740	1.379	1.532	6.3
2003/10/22	1.5			1.5	0.729		0.729	0.719	1.494	1.144		0.719	1.494	1.144	1.302	11.6
2003/10/23	21.5			21.5	0.472		0.472	3.214	6.722	7.433		3.214	6.722	7.433	6.407	11.3
2003/10/24	2.0			2.0	1.105		1.105	1.923	5.642	4.399		1.923	5.642	4.399	4.828	6.4
2003/10/25	3.0			3.0	2.145		2.145	1.290	3.932	2.408		1.290	3.932	2.408	3.200	9.5
2003/10/26	0.5			0.5	1.192		1.192	1.323	3.431	2.198		1.323	3.431	2.198	2.842	7.1
2003/10/27	0.0			0.0	1.608		1.608	1.084	2.544	1.710		1.084	2.544	1.710	2.141	9.5
2003/10/28	0.0			0.0	1.249		1.249	0.889	2.088	1.332		0.889	2.088	1.332	1.740	10.7
2003/10/29	13.5			13.5	0.287		0.287	1.173	3.040	2.797		1.173	3.040	2.797	2.723	9.9
2003/10/30	4.0			4.0	0.930		0.930	1.902	4.580	5.814		1.902	4.580	5.814	4.506	7.7
2003/10/31	0.0			0.0	1.050		1.050	1.403	3.407	2.898		1.403	3.407	2.898	3.007	7.0
月合計	156.0		0.0	156.0	30.3	0.0	30.3	49.4	108.4	98.0		49.4	108.4	98.0	97.7	8.9
																0.0

付表 1.5 水収支法地下水涵養量算出データ月表 (2003年11月)

年月日	雨量 (mm/day)				蒸発量 (mm/day)				河川流出高 (mm/day)						参考値			
	雨量計	積雪相当 水量(累積) (mm)	積雪相当水量 (時間差分合計)	採用雨量	非積雪期 ペンマン法	積雪期 ハルツ法	採用 蒸発量	H-O関係式から求めた 河川流出高 (mm/day)			流量観測河川流出高			採用河川流出高	平均気温 (°C)	最大積雪深 (cm)		
								P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3				P-1	P-2
2003/11/01	1.0			1.0	0.597		0.597	1.075	2.781	1.791			1.075	2.781	1.791	2.307	12.6	
2003/11/02	0.0			0.0	0.734		0.734	0.883	2.284	1.400			0.883	2.284	1.400	1.877	14.0	
2003/11/03	6.5			6.5	0.696		0.696	0.808	2.016	1.248			0.808	2.016	1.248	1.664	13.4	
2003/11/04	0.0			0.0	1.215		1.215	1.037	2.365	1.925			1.037	2.365	1.925	2.075	4.8	
2003/11/05	4.5			4.5	0.528		0.528	0.849	1.792	1.416			0.849	1.792	1.416	1.571	7.5	
2003/11/06	7.0			7.0	0.803		0.803	1.360	4.490	5.859			1.360	4.490	5.859	4.386	5.0	
2003/11/07	0.0			0.0	0.917		0.917	1.119	3.210	2.983			1.119	3.210	2.983	2.866	1.3	
2003/11/08	0.5			0.5	0.493		0.493	0.995	2.655	2.062			0.995	2.655	2.062	2.282	-0.1	
2003/11/09	0.0			0.0	0.144		0.144	0.905	2.222	1.646			0.905	2.222	1.646	1.901	-0.4	
2003/11/10	0.0			0.0	0.242		0.242	0.830	1.860	1.403			0.830	1.860	1.403	1.607	0.9	
2003/11/11	0.0			0.0	0.130		0.130	0.773	1.594	1.251			0.773	1.594	1.251	1.398	1.8	
2003/11/12	0.0			0.0	0.350		0.350	0.713	1.416	1.134			0.713	1.416	1.134	1.251	0.9	
2003/11/13	0.0			0.0	0.123		0.123	0.675	1.251	1.043			0.675	1.251	1.043	1.121	-1.7	
2003/11/14	0.0			0.0	0.788		0.788	0.628	1.104	0.972			0.628	1.104	0.972	1.006	1.3	
2003/11/15	2.0			2.0	0.638		0.638	0.603	1.120	0.926			0.603	1.120	0.926	1.002	8.0	
2003/11/16	7.5			7.5	0.912		0.912	0.740	1.824	1.482			0.740	1.824	1.482	1.592	5.4	
2003/11/17	4.0			4.0	0.679		0.679	0.910	1.861	2.020			0.910	1.861	2.020	1.767	2.6	
2003/11/18	0.0			0.0	1.145		1.145	0.873	1.695	1.709			0.873	1.695	1.709	1.584	4.2	
2003/11/19	0.0			0.0	0.248		0.248	0.760	1.458	1.368			0.760	1.458	1.368	1.340	-1.2	
2003/11/20	0.5			0.5	0.332		0.332	0.694	1.314	1.150			0.694	1.314	1.150	1.189	0.0	
2003/11/21	8.0			8.0	0.410		0.410	0.876	2.024	1.943			0.876	2.024	1.943	1.845	7.2	0.0
2003/11/22	4.0		4.0	6.5	0.853		0.853	0.983	2.124	1.936			0.983	2.124	1.936	1.921	0.3	1.0
2003/11/23	1.0		10.0	6.0	0.755		0.755	0.985	1.845	1.667			0.985	1.845	1.667	1.683	-1.3	3.0
2003/11/24	2.5		6.0	6.5	0.629		0.629	0.948	1.809	1.748			0.948	1.809	1.748	1.675	2.4	2.0
2003/11/25	9.5		11.0	14.5	0.520		0.520	2.627	5.512	6.715			2.627	5.512	6.715	5.402	3.4	2.0
2003/11/26	0.0			0.0	0.457		0.457	2.700	6.819	6.665			2.700	6.819	6.665	6.211	-3.4	1.0
2003/11/27	0.0			0.0	0.492		0.492	1.598	4.511	3.156			1.598	4.511	3.156	3.782	-3.8	0.0
2003/11/28	0.0			0.0	0.412		0.412	1.263	3.367	2.215			1.263	3.367	2.215	2.799	-0.5	0.0
2003/11/29	9.5			9.5	0.302		0.302	1.156	2.957	1.917			1.156	2.957	1.917	2.457	1.6	0.0
2003/11/30	10.5			10.5	0.378		0.378	4.801	9.681	11.168			4.801	9.681	11.168	9.363	4.0	0.0
月合計	78.5		21.0	95.0	16.9	0.0	16.9	35.2	81.0	73.9			35.2	81.0	73.9	72.9	3.0	3.0

付表 1.6 水収支法地下水涵養量算出データ月表 (2003年12月)

年月日	雨量 (mm/day)			蒸発散量 (mm/day)			河川流出高 (mm/day)						参考値						
	雨量計	積雪相当水量 (累積) (mm)	積雪相当水量 (時間差分合計)	採用雨量	非積雪期 ペンマン法	積雪期 ハルク法	採用 蒸発散量	H-Q曲線式から求めた 河川流出高 (mm/day)			流量観測河川流出高			採用河川流出高	加重平均	平均気温 (°C)	最大積雪深 (cm)		
								P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3					P-1	P-2
2003/12/01	0.0			0.0	0.286		0.286	2.600	6.985	4.907				2.600	6.985	4.907	5.878	-2.4	0.0
2003/12/02	0.0			0.0	0.252		0.252	1.678	5.003	2.638				1.678	5.003	2.638	3.974	-0.2	0.0
2003/12/03	0.5			0.5	0.539		0.539	1.253	3.868	2.081				1.253	3.868	2.081	3.076	-2.0	0.0
2003/12/04	1.0			1.0	0.491		0.491	1.146	3.031	2.033				1.146	3.031	2.033	2.530	-6.1	6.0
2003/12/05	0.0	6.0	6.0	6.0		0.432	0.432	1.025	2.704	1.990				1.025	2.704	1.990	2.300	-5.1	5.0
2003/12/06	1.0	10.0	4.0	4.0		0.433	0.433	0.865	2.114	1.286				1.011	2.664	1.964	2.266	-0.6	5.0
2003/12/07	5.5	23.0	13.0	13.0		0.151	0.151	0.782	1.834	1.531				0.997	2.623	1.938	2.233	-3.6	24.0
2003/12/08	0.0	29.0	6.0	6.0		0.226	0.226	0.842	1.718	1.880				0.983	2.583	1.912	2.200	-6.1	26.0
2003/12/09	0.0	38.0	9.0	9.0		0.128	0.128	0.809	1.540	1.737				0.970	2.542	1.885	2.166	-6.8	36.0
2003/12/10	1.5	43.0	5.0	5.0		-0.014	-0.014	0.724	1.486	2.106				0.956	2.502	1.859	2.133	-6.1	40.0
2003/12/11	0.0	44.0	1.0	1.0		0.109	0.109	0.705	1.290	1.958				0.942	2.461	1.833	2.100	-1.0	35.0
2003/12/12	0.0	47.0	3.0	3.0		-0.096	-0.096	1.199	1.179	1.635				0.928	2.421	1.807	2.067	-4.8	28.0
2003/12/13	0.0	50.0	1.0	1.0		-0.064	-0.064	1.926	2.116	1.617				0.914	2.381	1.781	2.033	-5.8	25.0
2003/12/14	0.0	49.0	1.0	1.0		-0.225	-0.225	0.609	1.169	1.770				0.900	2.340	1.755	2.000	2.3	22.0
2003/12/15	0.0	49.0	0.0	0.0		0.127	0.127	0.607	0.981	1.656				0.887	2.300	1.729	1.967	-0.7	15.0
2003/12/16	0.0	52.0	3.0	3.0		0.144	0.144	0.599	0.851	1.490				0.873	2.259	1.702	1.933	-4.4	15.0
2003/12/17	0.0	52.0	-4.0	-4.0		0.051	0.051	1.125	1.248	1.590				0.859	2.219	1.676	1.900	-7.2	15.0
2003/12/18	1.0	48.0	-2.0	-2.0		0.219	0.219	0.497	0.866	1.994				0.845	2.178	1.650	1.867	-1.9	28.0
2003/12/19	2.0	49.0	2.0	2.0		0.101	0.101	0.404	0.870	1.966				0.831	2.138	1.624	1.833	-0.2	26.0
2003/12/20	1.0	58.0	10.0	10.0		0.177	0.177	0.517	0.778	2.079				0.817	2.097	1.598	1.800	-3.5	27.0
2003/12/21	0.0	63.0	5.0	5.0		0.416	0.416	0.447	0.723	1.756				0.804	2.057	1.572	1.767	-1.4	27.0
2003/12/22	0.0	64.0	1.0	1.0		0.677	0.677	0.416	0.692	1.678				0.790	2.017	1.546	1.733	-0.2	25.0
2003/12/23	0.0	66.0	2.0	2.0		0.373	0.373	0.493	0.650	1.590				0.776	1.976	1.519	1.700	-1.1	23.0
2003/12/24	0.0	66.0	-1.0	-1.0		0.087	0.087	0.588	0.745	1.467				0.762	1.936	1.493	1.667	-6.5	22.0
2003/12/25	1.0	65.0	-2.0	-2.0		0.146	0.146	0.451	1.035	1.305				0.748	1.895	1.467	1.633	-7.3	33.0
2003/12/26	2.5	90.0	27.0	27.0		0.101	0.101	0.495	1.096	1.955				0.734	1.855	1.441	1.600	-5.3	39.0
2003/12/27	1.5	100.0	10.0	10.0		0.016	0.016	0.655	1.232	2.203				0.721	1.814	1.415	1.567	-9.3	46.0
2003/12/28	0.5	104.0	3.0	3.0		0.437	0.437	0.550	1.172	1.811				0.707	1.774	1.389	1.533	-2.1	46.0
2003/12/29	3.5	113.0	10.0	10.0		0.098	0.098	0.432	0.952	1.507				0.693	1.734	1.363	1.500	0.9	38.0
2003/12/30	8.0	137.0	24.0	24.0		0.243	0.243	1.390	1.088	1.995				0.679	1.693	1.336	1.467	-5.4	61.0
2003/12/31	0.5	137.0	0.0	0.0		0.549	0.549	0.877	1.300	2.037				0.665	1.653	1.310	1.434	-0.9	52.0
月合計	31.0		137.0	138.5	1.6	5.1	6.7	26.7	52.3	59.2				29.5	77.7	56.2	65.9	-3.4	61.0

凡例
 : 河川結水期
 : 河川流量観測結果から内挿・外挿した値

付表 1.7 水収支法地下水涵養量算出データ月表 (2004年1月)

年月日	雨量 (mm/day)				蒸発量 (mm/day)			河川流出高 (mm/day)						参考値				
	雨量計	積雪相当水量 (累積) (時間差分合計)	積雪相当水量 (時間差分合計)	採用雨量	非積雪期 ペンマン法	積雪期 ハビグ法	採用 蒸発量	H-Q線式から求めた 河川流出高 (mm/day)			流量観測河川流出高			採用河川流出高	加重平均	平均気温 (°C)	最大積雪深 (cm)	
								P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3					P-1
2004/01/01	1.5	141.0	4.0	4.0		0.331	0.331	0.685	1.066	1.942			0.651	1.612	1.284	1.400	-2.9	48.0
2004/01/02	1.0	147.0	6.0	6.0		0.104	0.104	0.601	0.942	1.799			0.638	1.572	1.258	1.367	-4.1	48.0
2004/01/03	2.0	152.0	5.0	5.0		0.039	0.039	0.613	0.926	1.698			0.624	1.531	1.232	1.334	-6.0	52.0
2004/01/04	0.5	153.0	1.0	1.0		-0.045	-0.045	0.697	0.953	1.709			0.610	1.491	1.206	1.300	-10.7	52.0
2004/01/05	0.5	154.0	-2.0	-2.0		0.013	0.013	0.619	1.024	1.797			0.596	1.450	1.179	1.267	-10.1	50.0
2004/01/06	0.0	154.0	3.0	3.0		0.026	0.026	0.597	1.083	1.933			0.582	1.410	1.153	1.234	-10.3	48.0
2004/01/07	0.0	154.0	0.0	0.0		-0.006	-0.006	0.552	1.078	1.827			0.568	1.370	1.127	1.200	-8.0	49.0
2004/01/08	1.0	168.0	14.0	14.0		0.095	0.095	0.542	1.102	1.840			0.555	1.329	1.101	1.167	-3.2	53.0
2004/01/09	0.0	174.0	6.0	6.0		-0.023	-0.023	0.596	1.245	1.781			0.541	1.289	1.075	1.134	-8.7	52.0
2004/01/10	2.0	188.0	14.0	14.0		0.088	0.088	0.515	1.284	1.827			0.527	1.248	1.049	1.100	-4.6	58.0
2004/01/11	1.0	201.0	5.0	5.0		0.109	0.109	0.798	1.268	1.888			0.513	1.208	1.023	1.067	-3.8	62.0
2004/01/12	0.5	198.0	5.0	5.0		0.017	0.017	0.821	1.966	2.256			0.499	1.167	0.996	1.034	-6.8	62.0
2004/01/13	4.0	207.0	9.0	9.0		0.153	0.153	0.544	2.092	2.181			0.485	1.127	0.970	1.000	-2.6	71.0
2004/01/14	1.0	245.0	35.0	35.0		0.104	0.104	0.498	3.317	2.102			0.472	1.087	0.944	0.967	-4.3	84.0
2004/01/15	0.5	248.0	6.0	6.0		0.105	0.105	0.618	5.852	2.158			0.458	1.046	0.918	0.934	-4.8	74.0
2004/01/16	0.5	249.0	0.0	0.0		0.123	0.123	0.602	5.535	2.083			0.444	1.006	0.892	0.900	-6.8	75.0
2004/01/17	0.0	251.0	3.0	3.0		-0.007	-0.007	0.540	3.977	1.898			0.430	0.965	0.866	0.867	-11.6	71.0
2004/01/18	0.0	252.0	1.0	1.0		-0.012	-0.012	0.513	2.806	1.920			0.416	0.925	0.840	0.834	-8.7	73.0
2004/01/19	0.0	297.0	29.0	29.0		-0.164	-0.164	0.512	2.041	1.932			0.402	0.884	0.813	0.801	-5.2	91.0
2004/01/20	0.0	300.0	4.0	4.0		-0.026	-0.026	0.631	1.526	2.004			0.389	0.844	0.787	0.767	-4.2	89.0
2004/01/21	1.0	291.0	6.0	6.0		0.002	0.002	0.458	1.333	2.093			0.375	0.803	0.761	0.734	-1.7	82.0
2004/01/22	7.5	310.0	19.0	19.0		0.180	0.180	0.393	1.066	1.954			0.361	0.763	0.735	0.701	-1.1	90.0
2004/01/23	2.5	330.0	20.0	20.0		0.185	0.185	0.552	1.048	2.298			0.347	0.723	0.709	0.667	-3.1	101.0
2004/01/24	0.0	332.0	-7.0	-7.0		0.026	0.026	1.726	1.032	2.207			0.333	0.682	0.683	0.634	-12.1	101.0
2004/01/25	0.0	324.0	1.0	1.0		-0.001	-0.001	0.639	1.108	2.342			0.319	0.642	0.657	0.601	-13.9	93.0
2004/01/26	0.5	325.0	-2.0	-2.0		0.031	0.031	0.532	1.169	2.083			0.306	0.601	0.630	0.567	-10.1	95.0
2004/01/27	0.0	325.0	2.0	2.0		0.026	0.026	0.481	1.238	1.860			0.292	0.561	0.604	0.534	-9.9	93.0
2004/01/28	0.0	333.0	9.0	9.0		0.006	0.006	0.529	1.463	1.919			0.278	0.520	0.578	0.501	-8.4	94.0
2004/01/29	0.5	336.0	3.0	3.0		0.073	0.073	0.551	2.019	1.947			0.264	0.480	0.552	0.467	-9.8	95.0
2004/01/30	0.0	337.0	0.0	0.0		0.104	0.104	0.507	1.724	1.854			0.273	0.485	0.542	0.469	-7.0	93.0
2004/01/31	0.0	338.0	0.0	0.0		0.048	0.048	0.505	1.422	1.772			0.281	0.490	0.531	0.471	-10.0	89.0
月合計	28.0	199.0	199.0	199.0	0.0	1.7	1.7	19.0	55.7	61.0			13.8	31.3	27.7	28.0	-6.9	101.0

凡例

河川結水期

河川流量観測実測値

河川流量観測結果から内挿・外挿した値

付表 1.8 水収支法地下水涵養量算出データ月表 (2004年2月)

年月日	雨量 (mm/day)				蒸発量 (mm/day)				河川流出高 (mm/day)										参考値	
	雨量計	積雪相当水量 (累積)	積雪相当水量 (時間差分合計)	採用雨量	非積雪期ペンマン法	積雪期バルク法	採用蒸発量	H-Q曲線式から求めた河川流出高 (mm/day)			流量観測河川流出高			採用河川流出高			平均気温 (°C)	最大積雪深 (cm)		
								P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3			加重平均	
2004/02/01	0.5	339.0	2.0	2.0		0.070	0.070	0.507	1.217	1.712				0.290	0.495	0.521	0.473	-8.5	90.0	
2004/02/02	0.0	346.0	8.0	8.0		0.251	0.251	0.475	1.235	1.522				0.298	0.501	0.511	0.475	-6.2	89.0	
2004/02/03	2.0	351.0	4.0	4.0		0.173	0.173	0.441	1.375	1.481				0.307	0.506	0.501	0.477	-2.7	89.0	
2004/02/04	1.5	354.0	4.0	4.0		0.264	0.264	0.396	1.304	1.574				0.315	0.511	0.490	0.479	-5.5	90.0	
2004/02/05	1.0	357.0	3.0	3.0		0.186	0.186	0.395	1.363	1.587				0.324	0.516	0.480	0.481	-3.3	90.0	
2004/02/06	0.5	364.0	7.0	7.0		0.172	0.172	0.383	1.413	1.602				0.333	0.521	0.470	0.483	-5.7	92.0	
2004/02/07	1.5	371.0	7.0	7.0		0.033	0.033	0.419	1.282	1.510				0.341	0.526	0.459	0.485	-8.7	98.0	
2004/02/08	3.0	383.0	12.0	12.0		0.091	0.091	0.496	1.445	1.479				0.350	0.531	0.449	0.486	-6.1	103.0	
2004/02/09	1.5	395.0	12.0	12.0		0.045	0.045	0.763	2.123	1.537				0.358	0.537	0.439	0.488	-8.3	111.0	
2004/02/10	0.0	397.0	0.0	0.0		0.203	0.203	0.619	1.941	1.541				0.367	0.542	0.429	0.490	-5.5	105.0	
2004/02/11	15.0	422.0	27.0	27.0		0.141	0.141	0.504	1.603	1.534				0.375	0.547	0.418	0.492	0.8	109.0	
2004/02/12	4.5	428.0	6.0	6.0		0.097	0.097	0.941	2.131	1.884		0.384	0.552	0.384	0.552	0.403	0.494	-3.1	112.0	
2004/02/13	0.0	429.0	-1.0	-1.0		0.470	0.470	0.499	1.816	2.281				0.374	0.557	0.427	0.500	0.0	103.0	
2004/02/14	0.0	429.0	2.0	2.0		0.451	0.451	0.334	1.332	2.281				0.363	0.562	0.446	0.507	2.0	100.0	
2004/02/15	0.0	448.0	18.0	18.0		0.110	0.110	0.702	1.170	2.375				0.353	0.567	0.465	0.513	-3.9	102.0	
2004/02/16	0.0	464.0	17.0	17.0		0.100	0.100	0.597	1.304	2.112				0.343	0.573	0.483	0.519	-7.1	101.0	
2004/02/17	0.0	484.0	18.0	18.0		0.156	0.156	0.429	1.481	1.568				0.333	0.578	0.502	0.526	-9.2	107.0	
2004/02/18	0.0	484.0	-7.0	-7.0		0.034	0.034	0.521	1.567	1.861				0.322	0.583	0.521	0.532	-10.0	102.0	
2004/02/19	0.0	481.0	2.0	2.0		0.076	0.076	0.569	1.693	1.853				0.312	0.588	0.540	0.538	-10.5	102.0	
2004/02/20	0.5	480.0	0.0	0.0		0.156	0.156	0.591	1.887	1.940				0.302	0.593	0.559	0.545	-6.1	101.0	
2004/02/21	6.0	480.0	1.0	1.0		0.036	0.036	0.525	1.872	2.375				0.291	0.598	0.578	0.551	-4.0	102.0	
2004/02/22	0.5	503.0	25.0	25.0		0.073	0.073	0.539	1.836	2.331				0.281	0.603	0.597	0.557	-6.9	112.0	
2004/02/23	0.0	526.0	23.0	23.0		0.806	0.806	2.000	5.168	4.229				0.271	0.609	0.615	0.563	-7.4	118.0	
2004/02/24	4.0	555.0	29.0	29.0		-0.055	-0.055	1.769	8.068	3.088				0.261	0.614	0.634	0.570	-3.6	129.0	
2004/02/25	11.0	573.0	17.0	17.0		0.084	0.084	0.730	8.941	2.632				0.250	0.619	0.653	0.576	1.4	139.0	
2004/02/26	8.5	596.0	24.0	24.0		0.116	0.116	0.549	9.424	2.470		0.240	0.624	0.240	0.624	0.672	0.582	-3.0	138.0	
2004/02/27	5.5	613.0	10.0	10.0		0.179	0.179	0.507	10.587	2.496				0.271	0.646	0.681	0.603	-6.9	145.0	
2004/02/28	2.0	636.0	29.0	29.0		0.168	0.168	0.509	10.229	2.094				0.302	0.669	0.689	0.623	-3.2	139.0	
2004/02/29	14.5	669.0	22.0	22.0		0.165	0.165	0.461	10.616	2.000				0.333	0.691	0.698	0.643	-1.1	143.0	
月合計	83.5		321.0	321.0	0.0	4.8	4.8	18.2	97.4	59.9				9.2	16.6	15.3	15.3	-4.9	145.0	

凡例
 : 河川結氷期
 : 河川流量観測未測値
 : 河川流量観測結果から内挿・外挿した値

付表 1.9 水収支法地下水涵養量算出データー月表 (2004年3月)

年月日	雨量 (mm/day)				蒸発量 (mm/day)				河川流出高 (mm/day)										参考値	
	雨量計	積雪相当 水量 (累積) (mm)	積雪相当 水量 (累積) (時間差分合計)	採用雨量	非積雪期 ペンマン法	積雪期 ハルツ法	採用 蒸発量	H-Q曲線式から求めた 河川流出高 (mm/day)			流量観測河川流出高			採用河川流出高			平均気温 (°C)	最大積雪深 (cm)		
								P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3			加重平均	
2004/03/01	0.0	675.0	16.0	16.0		0.268	0.268		0.487	11.852	2.599				0.363	0.713	0.706	0.663	-7.6	134.0
2004/03/02	0.5	681.0	2.0	2.0		0.362	0.362		0.499	11.792	2.547				0.394	0.735	0.715	0.683	-6.5	131.0
2004/03/03	3.5	689.0	18.0	18.0		0.185	0.185		0.542	10.745	2.198				0.425	0.758	0.723	0.703	-7.9	137.0
2004/03/04	3.0			3.0		0.201	0.201		0.521	9.861	1.865				0.456	0.780	0.732	0.724	-5.4	144.0
2004/03/05	0.0			0.0		0.086	0.086		0.528	8.227	1.771				0.487	0.802	0.741	0.744	-6.1	139.0
2004/03/06	0.0			0.0		0.099	0.099		0.490	5.843	1.517				0.518	0.825	0.749	0.764	-7.4	135.0
2004/03/07	0.0			0.0		0.149	0.149		0.502	3.876	1.409				0.549	0.847	0.758	0.784	-8.9	133.0
2004/03/08	1.0			1.0		0.173	0.173		0.485	2.994	1.329				0.579	0.869	0.766	0.804	-6.0	134.0
2004/03/09	0.5			0.5		0.148	0.148		0.501	2.608	1.333				0.610	0.891	0.775	0.824	-6.8	135.0
2004/03/10	0.0			0.0		-0.125	-0.125		0.585	2.448	1.264				0.641	0.914	0.783	0.845	2.6	129.0
2004/03/11	9.5			9.5		0.187	0.187		23.767	11.026	6.820	0.936	0.792		0.672	0.936	0.792	0.865	1.9	117.0
2004/03/12	0.0			0.0		1.614	1.614		67.854	15.719	28.249				1.190	1.423	1.243	1.347	-0.9	105.0
2004/03/13	0.0			0.0		0.569	0.569		56.317	15.749	26.270				1.707	1.910	1.694	1.830	-2.5	107.0
2004/03/14	1.0			1.0		0.146	0.146		54.447	14.370	30.823				2.225	2.397	2.145	2.312	-3.9	108.0
2004/03/15	0.5			0.5		0.055	0.055		26.300	12.874	24.043				2.743	2.893	2.595	2.795	-0.9	105.0
2004/03/16	0.0			0.0		0.445	0.445		10.547	10.168	13.014				3.261	3.370	3.046	3.277	2.8	104.0
2004/03/17	18.5			18.5		-0.448	-0.448		15.452	9.688	18.576				3.778	3.857	3.497	3.760	4.3	100.0
2004/03/18	0.0			0.0		1.219	1.219		39.476	21.001	47.737				4.296	4.344	3.948	4.242	-3.5	88.0
2004/03/19	0.0			0.0		0.706	0.706		13.174	14.914	31.997				4.814	4.831	4.399	4.725	-3.6	89.0
2004/03/20	0.0			0.0		0.378	0.378		10.773	6.202	23.502				5.331	5.318	4.850	5.207	-5.0	88.0
2004/03/21	0.0			0.0		0.122	0.122		9.572	3.025	13.555				5.849	5.805	5.301	5.690	-4.5	87.0
2004/03/22	0.0			0.0		0.184	0.184		6.585	2.702	11.906				6.367	6.291	5.751	6.172	-2.9	85.0
2004/03/23	0.0			0.0		0.147	0.147		6.677	3.662	13.896				6.885	6.778	6.202	6.654	1.4	82.0
2004/03/24	0.0			0.0		0.150	0.150		8.094	5.589	18.968				7.402	7.265	6.653	7.137	2.8	77.0
2004/03/25	0.0			0.0		0.167	0.167		10.889	6.920	14.583	7.920	7.104		7.920	7.752	7.104	7.619	0.3	73.0
2004/03/26	0.0			0.0		0.357	0.357		10.328	5.850	7.953				10.328	5.850	7.953	6.976	0.1	72.0
2004/03/27	0.0			0.0		0.570	0.570		9.099	5.407	7.299				9.099	5.407	7.299	6.373	1.8	70.0
2004/03/28	0.0			0.0		0.197	0.197		10.745	7.800	9.443				10.745	7.800	9.443	8.603	-1.5	66.0
2004/03/29	0.0			0.0		0.343	0.343		9.503	6.855	8.046				9.503	6.855	8.046	7.508	-0.7	64.0
2004/03/30	5.0			5.0		-0.703	-0.703		10.219	7.335	8.547				10.219	7.335	8.547	8.026	4.7	61.0
2004/03/31	1.5			1.5		-0.192	-0.192		22.526	20.280	15.735				22.526	20.280	15.735	19.488	3.1	55.0
月合計	44.5		36.0	76.5	0.0	7.8	7.8		438.5	277.4	398.6				141.9	126.8	123.7	128.2	-2.1	144.0

凡例

：河川結氷期

：河川流量観測未測値

：河川流量観測結果から内挿・外挿した値

付表 1.10 水収支法地下水涵養量算出データー月表 (2004年4月)

年月日	雨量 (mm/day)				蒸発散量 (mm/day)				河川流出高 (mm/day)												参考値	
	雨量計	積雪相当 水量 (累積) (mm)	積雪相当水量 (時間差分合計)	採用雨量	非積雪期 ペンマン法	積雪期 バルク法	採用 蒸発散量	H-Q曲線式から求めた 河川流出高 (mm/day)			流量観測河川流出高			採用河川流出高			平均気温 (°C)	最大積雪深 (cm)				
								P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3			加重平均			
2004/04/01	0.0			0.0		0.738	0.738	11.494	9.968	12.600	13.056	9.288	13.625	11.494	9.968	11.422	-1.7	51.0				
2004/04/02	0.0			0.0		0.566	0.566	8.494	6.241	8.494	6.241		8.494	6.241	5.429	6.358	-2.7	50.0				
2004/04/03	0.5			0.5		0.411	0.411	7.314	5.056	7.314	5.056		7.314	5.056	4.941	5.341	-3.7	48.0				
2004/04/04	0.0			0.0		0.526	0.526	7.447	5.436	7.447	5.436		7.447	5.436	5.838	5.811	2.2	49.0				
2004/04/05	5.5			5.5		0.057	0.057	9.289	7.384	9.289	7.384		9.289	7.384	8.463	7.907	3.9	42.0				
2004/04/06	0.0			0.0		-1.055	-1.055	22.039	19.990	22.039	19.990		22.039	19.990	16.460	19.425	5.1	35.0				
2004/04/07	0.0			0.0		-0.122	-0.122	24.144	26.742	24.144	26.742		24.144	26.742	15.933	23.783	4.2	28.0				
2004/04/08	6.0			6.0		0.032	0.032	16.926	17.889	16.926	17.889	14.664	13.224	12.264	16.926	17.889	10.804	1.3	36.0			
2004/04/09	0.0			0.0		-0.472	-0.472	12.336	11.374	12.336	11.374	8.386			12.336	11.374	8.386	-3.2	23.0			
2004/04/10	1.5			1.5		0.100	0.100	12.166	10.973	12.166	10.973	8.882			12.166	10.973	8.882	0.3	20.0			
2004/04/11	0.0			0.0		-0.046	-0.046	14.802	15.018	14.802	15.018	10.721			14.802	15.018	10.721	3.1	15.0			
2004/04/12	0.0			0.0	0.652	0.063	0.716	16.351	17.708	16.351	17.708	10.914			16.351	17.708	10.914	3.0	7.0			
2004/04/13	0.0			0.0	2.332	0.000	2.332	18.575	21.416	18.575	21.416	11.471			18.575	21.416	11.471	4.4	0.0			
2004/04/14	0.0			0.0	2.475	0.000	2.475	18.410	21.663	18.410	21.663	10.791			18.410	21.663	10.791	6.3	0.0			
2004/04/15	0.0			0.0	2.554	0.000	2.554	14.516	16.476	14.516	16.476	8.866	12.864	13.848	14.516	16.476	8.866	3.0	0.0			
2004/04/16	8.0			8.0	0.536	0.000	0.536	10.450	10.581	10.450	10.581	5.267			10.450	10.581	5.267	0.2	2.0			
2004/04/17	0.5			0.5	0.520	0.000	0.520	8.866	6.927	8.866	6.927	4.147			8.866	6.927	4.147	1.1	4.0			
2004/04/18	0.0			0.0	1.873	0.000	1.873	9.119	7.114	9.119	7.114	5.724			9.119	7.114	5.724	5.9	0.0			
2004/04/19	0.5			0.5	2.367	0.000	2.367	17.024	19.554	17.024	19.554	10.500			17.024	19.554	10.500	10.3				
2004/04/20	20.0			20.0	0.417	0.000	0.417	25.657	35.251	25.657	35.251	12.969			25.657	35.251	12.969	5.7				
2004/04/21	3.5			3.5	1.479	0.000	1.479	20.720	25.140	20.720	25.140	12.268			20.720	25.140	12.268	2.6				
2004/04/22	0.5			0.5	0.852	0.000	0.852	11.021	11.783	11.021	11.783	5.992	11.664	12.120	7.128	11.021	11.783	5.992	1.3			
2004/04/23	0.0			0.0	1.362	0.000	1.362	8.834	7.881	8.834	7.881	4.490			8.834	7.881	4.490	1.0				
2004/04/24	2.0			2.0	0.873	0.000	0.873	7.604	6.501	7.604	6.501	3.717			7.604	6.501	3.717	0.2				
2004/04/25	0.0			0.0	1.291	0.000	1.291	7.033	5.626	7.033	5.626	3.176			7.033	5.626	3.176	1.5				
2004/04/26	0.0			0.0	2.622	0.000	2.622	8.328	8.050	8.328	8.050	3.737			8.328	8.050	3.737	5.5				
2004/04/27	0.0			0.0	2.139	0.000	2.139	9.297	11.113	9.297	11.113	4.168			9.297	11.113	4.168	7.8				
2004/04/28	0.0			0.0	2.331	0.000	2.331	9.077	12.050	9.077	12.050	4.044	7.176	9.336	3.576	9.077	12.050	4.044	5.0			
2004/04/29	0.0			0.0	3.534	0.000	3.534	8.249	11.554	8.249	11.554	3.637			8.249	11.554	3.637	7.4				
2004/04/30	0.0			0.0	2.031	0.000	2.031	8.226	11.818	8.226	11.818	3.689			8.226	11.818	3.689	7.2				
月合計	48.5		0.0	48.5	32.2	0.8	33.0	365.9	405.8	365.9	405.8	235.4			365.9	405.8	235.4	3.2	51.0			

付表 1.11 水収支法地下水涵養量算出データ月表 (2004年5月)

年月日	雨量 (mm/day)				蒸発量 (mm/day)				河川流出高 (mm/day)						参考値			
	雨量計	積雪相当水量 (家積) (mm)	積雪相当水量 (時間差分合計)	採用雨量	非積雪期ペンマン法	積雪期バルク法	採用蒸発量	H-Q曲線式から求めた河川流出高 (mm/day)			流量観測河川流出高			採用河川流出高		平均気温 (°C)	最大積雪深 (cm)	
								P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2			P-3
2004/05/01	0.0			0.0	2.849		2.849	6.951	8.999	3.138			6.951	8.999	3.138	7.306	5.6	
2004/05/02	0.0			0.0	3.033		3.033	5.866	7.062	2.797			5.866	7.062	2.797	5.871	9.0	
2004/05/03	34.0			34.0	0.843		0.843	7.560	9.052	4.312			7.560	9.052	4.312	7.705	7.6	
2004/05/04	22.5			22.5	1.140		1.140	29.061	43.187	18.674			29.061	43.187	18.674	35.335	7.1	
2004/05/05	0.0			0.0	1.289		1.289	10.312	15.721	6.789			10.312	15.721	6.789	12.824	6.3	
2004/05/06	0.0			0.0	3.533		3.533	7.120	9.585	3.978			7.120	9.585	3.978	7.895	11.4	
2004/05/07	2.0			2.0	1.197		1.197	5.725	7.227	3.151			5.725	7.227	3.151	6.039	7.6	
2004/05/08	0.0			0.0	2.580		2.580	4.604	5.508	2.446			4.604	5.508	2.446	4.646	6.9	
2004/05/09	0.0			0.0	4.064		4.064	3.736	4.364	2.070			3.736	4.364	2.070	3.725	14.2	
2004/05/10	3.5			3.5	3.083		3.083	3.081	3.636	1.819			3.081	3.636	1.819	3.122	16.3	
2004/05/11	7.5			7.5	0.808		0.808	3.893	4.250	2.641			3.893	4.250	2.641	3.814	10.8	
2004/05/12	0.0			0.0	4.488		4.488	2.622	2.754	1.834			2.622	2.754	1.834	2.514	12.5	
2004/05/13	7.0			7.0	1.394		1.394	2.599	2.365	1.677	2.712	3.024	2.599	2.365	1.677	2.232	11.3	
2004/05/14	0.0			0.0	3.638		3.638	2.795	2.297	1.798			2.795	2.297	1.798	2.246	12.8	
2004/05/15	0.0			0.0	3.728		3.728	2.236	1.705	1.337			2.236	1.705	1.337	1.690	14.4	
2004/05/16	0.0			0.0	2.408		2.408	2.017	1.422	1.195			2.017	1.422	1.195	1.450	12.7	
2004/05/17	2.0			2.0	1.488		1.488	1.870	1.251	1.111			1.870	1.251	1.111	1.303	10.8	
2004/05/18	13.0			13.0	0.591		0.591	3.468	2.501	2.845			3.468	2.501	2.845	2.718	8.6	
2004/05/19	0.0			0.0	3.728		3.728	2.574	1.799	1.962			2.574	1.799	1.962	1.946	14.0	
2004/05/20	0.0			0.0	2.834		2.834	2.121	1.492	1.415			2.121	1.492	1.415	1.561	16.3	
2004/05/21	9.0			9.0	1.298		1.298	2.017	1.529	1.210			2.017	1.529	1.210	1.520	9.9	
2004/05/22	12.0			12.0	1.305		1.305	6.583	6.240	4.202			6.583	6.240	4.202	5.797	6.4	
2004/05/23	0.0			0.0	2.662		2.662	4.279	4.097	2.474			4.279	4.097	2.474	3.732	10.2	
2004/05/24	0.0			0.0	2.938		2.938	3.183	3.088	1.771			3.183	3.088	1.771	2.784	11.3	
2004/05/25	0.0			0.0	1.402		1.402	2.618	2.446	1.377			2.618	2.446	1.377	2.213	9.6	
2004/05/26	0.0			0.0	1.233		1.233	2.270	2.004	1.202			2.270	2.004	1.202	1.848	12.0	
2004/05/27	0.0			0.0	3.600		3.600	2.033	1.584	1.046			2.033	1.584	1.046	1.517	16.4	
2004/05/28	0.0			0.0	2.960		2.960	1.527	1.289	0.915	1.656	1.680	1.527	1.289	0.915	1.232	18.2	
2004/05/29	26.5			26.5	0.421		0.421	3.285	3.189	2.257			3.285	3.189	2.257	2.978	14.6	
2004/05/30	0.0			0.0	3.400		3.400	4.867	5.560	4.136			4.867	5.560	4.136	5.122	13.5	
2004/05/31	5.0			5.0	0.698		0.698	3.282	3.731	2.337			3.282	3.731	2.337	3.334	12.0	
月合計	144.0			144.0	70.6		70.6	146.2	170.9	89.9			146.2	170.9	89.9	148.0	11.3	0.0

付表 1.12 水収支法地下水涵養量算出データ月表 (2004年6月)

年月日	雨量 (mm/day)				蒸発量 (mm/day)				河川流出高 (mm/day)												参考値	
	雨量計	積雪相当 水量(果積) (mm)	積雪相当水量 (時間差分合計)	採用雨量	非積雪期 ペンマン法	積雪期 バルク法	採用 蒸発量	H-Q曲線式から求めた 河川流出高 (mm/day)			流量観測河川流出高			採用河川流出高			平均気温 (°C)	最大積雪深 (cm)				
								P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3			加重平均			
2004/06/01	0.0			0.0	3.246		3.246	2.678	2.952	1.848				2.678	2.952	1.848	2.649	12.2				
2004/06/02	0.0			0.0	3.268		3.268	2.127	2.275	1.376				2.127	2.275	1.376	2.038	12.6				
2004/06/03	0.0			0.0	3.946		3.946	1.796	1.835	1.140				1.796	1.835	1.140	1.662	14.1				
2004/06/04	0.0			0.0	4.517		4.517	1.530	1.514	0.995				1.530	1.514	0.995	1.391	16.2				
2004/06/05	0.0			0.0	1.178		1.178	1.382	1.326	0.946				1.382	1.326	0.946	1.242	13.3				
2004/06/06	0.0			0.0	4.599		4.599	1.219	1.098	0.834				1.219	1.098	0.834	1.051	16.4				
2004/06/07	0.0			0.0	2.764		2.764	1.087	0.942	0.776				1.087	0.942	0.776	0.922	13.6				
2004/06/08	0.0			0.0	3.883		3.883	0.989	0.814	0.712				0.989	0.814	0.712	0.814	11.9				
2004/06/09	2.0			2.0	2.633		2.633	0.954	0.735	0.708	0.888	1.104		0.954	0.735	0.708	0.759	13.1				
2004/06/10	8.0			8.0	0.424		0.424	1.305	1.113	1.107				1.305	1.113	1.107	1.138	11.3				
2004/06/11	0.0			0.0	3.284		3.284	1.023	0.745	0.779				1.023	0.745	0.779	0.792	13.4				
2004/06/12	1.5			1.5	1.295		1.295	0.914	0.642	0.707				0.914	0.642	0.707	0.695	14.0				
2004/06/13	0.0			0.0	1.995		1.995	0.854	0.587	0.667				0.854	0.587	0.667	0.643	13.3				
2004/06/14	0.0			0.0	1.780		1.780	0.773	0.500	0.613				0.773	0.500	0.613	0.565	14.1				
2004/06/15	0.0			0.0	3.376		3.376	0.749	0.433	0.552				0.749	0.433	0.552	0.505	10.4				
2004/06/16	0.0			0.0	3.691		3.691	0.769	0.380	0.524				0.769	0.380	0.524	0.469	11.5				
2004/06/17	0.0			0.0	4.485		4.485	0.624	0.310	0.513				0.624	0.310	0.513	0.402	16.4				
2004/06/18	0.0			0.0	4.902		4.902	0.583	0.288	0.477				0.583	0.288	0.477	0.374	18.6				
2004/06/19	1.0			1.0	0.952		0.952	0.590	0.331	0.553				0.590	0.331	0.553	0.420	17.1				
2004/06/20	0.0			0.0	1.002		1.002	0.569	0.300	0.574				0.569	0.300	0.574	0.403	17.9				
2004/06/21	7.5			7.5	1.597		1.597	0.543	0.268	0.595				0.543	0.268	0.595	0.385	18.3				
2004/06/22	12.5			12.5	1.341		1.341	0.945	0.707	0.909	0.912	0.936	0.744	0.945	0.707	0.909	0.789	16.3				
2004/06/23	3.5			3.5	0.903		0.903	2.094	2.012	1.813				2.094	2.012	1.813	1.976	14.5				
2004/06/24	2.5			2.5	2.128		2.128	1.460	1.166	1.217				1.460	1.166	1.217	1.219	14.1				
2004/06/25	0.0			0.0	4.005		4.005	1.034	0.741	0.760				1.034	0.741	0.760	0.786	16.5				
2004/06/26	0.0			0.0	3.540		3.540	0.780	0.485	0.560				0.780	0.485	0.560	0.544	17.5				
2004/06/27	0.0			0.0	3.428		3.428	0.673	0.388	0.452				0.673	0.388	0.452	0.443	18.2				
2004/06/28	0.0			0.0	1.172		1.172	0.671	0.357	0.450				0.671	0.357	0.450	0.423	16.5				
2004/06/29	1.0			1.0	0.899		0.899	0.704	0.378	0.466				0.704	0.378	0.466	0.444	16.7				
2004/06/30	28.5			28.5	0.471		0.471	2.000	1.487	1.989				2.000	1.487	1.989	1.679	14.9				
月合計	68.0			68.0	76.7	0.0	76.7	33.4	27.1	25.6				33.4	27.1	25.6	27.6	14.8	0.0			

付表 1.13 水収支法地下水涵養量算出データ月表 (2004年7月)

年月日	雨量 (mm/day)				蒸発散量 (mm/day)				河川流出高 (mm/day)						参考値			
	雨量計	積雪相当水量 (累積) (mm)	積雪相当水量 (時間差分合計)	採用雨量	非積雪期 ペンマン法	積雪期 ハルグ法	採用 蒸発散量	H-Q曲線式から求めた 河川流出高 (mm/day)			流量観測河川流出高			採用河川流出高	加重平均	平均気温 (°C)	最大積雪深 (cm)	
								P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3					P-1
2004/07/01	2.5			2.5	2.053		2.053	4.505	3.751	5.137			4.505	3.751	5.137	4.189	12.4	
2004/07/02	0.0			0.0	3.664		3.664	1.940	1.588	1.435			1.940	1.588	1.435	1.600	14.5	
2004/07/03	0.0			0.0	3.138		3.138	1.439	1.121	0.865			1.439	1.121	0.865	1.103	14.5	
2004/07/04	0.0			0.0	3.277		3.277	1.207	0.889	0.665			1.207	0.889	0.665	0.879	13.1	
2004/07/05	6.0			6.0	2.438		2.438	1.077	0.750	0.605			1.077	0.750	0.605	0.760	14.0	
2004/07/06	15.0			15.0	0.618		0.618	2.987	2.895	2.769			2.987	2.895	2.769	2.877	13.6	
2004/07/07	0.5			0.5	0.626		0.626	2.233	2.146	1.899			2.233	2.146	1.899	2.099	14.8	
2004/07/08	0.0			0.0	2.591		2.591	1.811	1.720	1.260		1.896	1.811	1.720	1.260	1.622	17.7	
2004/07/09	2.5			2.5	2.583		2.583	1.584	1.482	1.032			1.584	1.482	1.032	1.388	17.3	
2004/07/10	4.0			4.0	1.292		1.292	1.598	1.466	1.255			1.598	1.466	1.255	1.428	12.9	
2004/07/11	0.0			0.0	2.077		2.077	1.383	1.191	0.951			1.383	1.191	0.951	1.160	10.4	
2004/07/12	0.0			0.0	3.315		3.315	1.215	0.965	0.769			1.215	0.965	0.769	0.952	12.6	
2004/07/13	0.0			0.0	2.656		2.656	1.068	0.798	0.633			1.068	0.798	0.633	0.796	15.0	
2004/07/14	0.0			0.0	2.639		2.639	0.949	0.685	0.581			0.949	0.685	0.581	0.697	16.9	
2004/07/15	0.0			0.0	3.003		3.003	0.855	0.589	0.522			0.855	0.589	0.522	0.610	18.7	
2004/07/16	0.0			0.0	1.443		1.443	0.811	0.552	0.527			0.811	0.552	0.527	0.582	18.7	
2004/07/17	18.5			18.5	0.725		0.725	0.905	0.714	0.799			0.905	0.714	0.799	0.761	18.7	
2004/07/18	0.0			0.0	1.869		1.869	1.766	1.565	1.948			1.766	1.565	1.948	1.685	18.6	
2004/07/19	0.0			0.0	1.719		1.719	0.990	0.744	0.813			0.990	0.744	0.813	0.795	18.1	
2004/07/20	1.0			1.0	2.217		2.217	0.866	0.599	0.650	0.816	1.080	0.866	0.599	0.650	0.648	20.8	
2004/07/21	11.0			11.0	1.911		1.911	0.864	0.609	0.621			0.864	0.609	0.621	0.647	15.3	
2004/07/22	0.0			0.0	3.074		3.074	0.754	0.489	0.513			0.754	0.489	0.513	0.531	16.9	
2004/07/23	0.0			0.0	3.632		3.632	0.662	0.397	0.471			0.662	0.397	0.471	0.452	23.0	
2004/07/24	0.0			0.0	3.106		3.106	0.581	0.324	0.411			0.581	0.324	0.411	0.381	24.3	
2004/07/25	1.0			1.0	0.384		0.384	0.601	0.349	0.456			0.601	0.349	0.456	0.410	20.3	
2004/07/26	10.0			10.0	1.090		1.090	1.110	0.994	1.470			1.110	0.994	1.470	1.125	18.4	
2004/07/27	1.5			1.5	1.408		1.408	0.919	0.668	0.828			0.919	0.668	0.828	0.741	18.8	
2004/07/28	81.0			81.0	0.245		0.245	33.548	65.616	20.644			33.548	65.616	20.644	50.359	19.0	
2004/07/29	0.0			0.0	1.112		1.112	10.713	21.439	9.447			10.713	21.439	9.447	17.069	20.6	
2004/07/30	0.0			0.0	3.166		3.166	5.640	8.907	4.181			5.640	8.907	4.181	7.318	23.1	
2004/07/31	0.0			0.0	2.141		2.141	4.236	5.794	2.703			4.236	5.794	2.703	4.835	23.0	
月合計	154.5			0.0	65.2		65.2	90.8	131.8	66.9			90.8	131.8	66.9	110.5	17.3	0.0
年合計	1056.5			714.0	398.7		418.9						964.9	1219.5	860.3	1097.9	6.1	145.0

2. 蒸発散量算出手法

- (1) ペンマン法
- (2) バルク法
- (3) 傾度法
- (4) ボーエン比熱収支法
- (5) その他の算出手法

(1) ペンマン法

北進観測所の周辺環境は周囲が開けほぼ平坦である。また、植生は草地であるが、冬期は積雪に覆われる環境である。そのため、無積雪期は水面や粗度の小さい地表面に対して適用性の高いペンマン法を採用した。

(a) 算出式

Penman は、熱収支法と空気力学法を組み合わせた Penman 式を導いた (Penman, 1948)。この手法は浅い水体表面からの蒸発量 (可能蒸発散量) を計算する方法である。算出した可能蒸発散量に一定の係数 (蒸発散係数) を乗ずることにより実蒸発散量が求められる。式(1)に可能蒸発散量の算定式を示す。

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \left(\frac{R_n - G}{L} \right) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_A \dots\dots\dots (1)$$

- E : 可能蒸発散量(g/cm²/s)
- Δ : 飽和水蒸気圧曲線の勾配(hPa/°C)
- γ : 乾湿計定数($C_p \times P / 0.622 \lambda$)(hPa/k)
- L : 水の蒸発による潜熱(cal/g)
- C_p : 定圧比熱
- R_n : 純放射量(cal/cm²/s)
- G : 地中熱流量(cal/cm²/s)
- E_A : 空気の drying power

式(1)の E_A は式(2)で与えられる。

$$E_A = f(u)(e_{sat} - e) \dots\dots\dots (2)$$

- e_{sat} : 温度 T における飽和水蒸気圧(hPa)
- e : 蒸発面上のある高さの水蒸気圧(hPa)

また、Penman は $f(u)$ について、 U_2 を高さ 2m の風速(m/s)とし、式(3)、式(4)の経験式を用いている。今回は式(3)を用いて計算を行った。

$$f(u) = 0.26(0.5 + 0.537U_2) \dots\dots\dots (3)$$

$$f(u) = 0.26(1 + 0.537U_2) \dots\dots\dots (4)$$

ただし、上の係数と単位を用いると E_A の項の単位は mm/day となる点に注意が必要

である。したがって、式(1)に代入する前に単位をそろえる必要がある。水の密度を $\rho_w=10^3\text{kg/m}^3$ として、

$$\begin{aligned}
 E_A[\text{mm/day}] &= E_A \times 10^{-3} / (60 \times 60 \times 24) \quad [\text{m/s}] \\
 &= E_A \times \rho_w \times 10^{-3} / (60 \times 60 \times 24) \quad [\text{kg/m}^3][\text{m/s}] \\
 &= E_A \times \rho_w \times 10^{-3} / (60 \times 60 \times 24) \quad [\text{kg/m}^2/\text{s}] \\
 &= E_A \times \rho_w \times 10^{-3} / (60 \times 60 \times 24 \times 10) \quad [\text{g/cm}^2/\text{s}] \dots\dots\dots(5)
 \end{aligned}$$

となる。

また、式(2)の中の e_{sat} (飽和水蒸気圧) は、単位体積中に含まれうる水蒸気の極値であり、温度の関数である。気温 (°C) を T として以下の式で与えられる。

$$e_{sat} = 6.1078 \times 10^{(7.5 \times T) / (237.3 + T)} \quad [\text{hPa}] \dots\dots\dots(6)$$

蒸発の潜熱 L を与える実験式としては以下の式で与えられる。

$$\begin{aligned}
 L &= 2.50025 \times 10^6 - 2.365 \times 10^3 \times T \quad [\text{J/kg}] \\
 &= (2.50025 \times 10^6 - 2.365 \times 10^3 \times T) \times 23.92 \times 10^{-5} \quad [\text{cal/g}] \dots\dots\dots(7)
 \end{aligned}$$

飽和水蒸気圧曲線の傾き Δ (hPa/°C) は次の式で求められる。

$$\Delta = (6.1078 \times (2500 - 2.4T) / 0.4615 \times (273.15 + T)^2) \times 10^{(7.5 \times T) / (237.3 + T)} \dots\dots\dots(8)$$

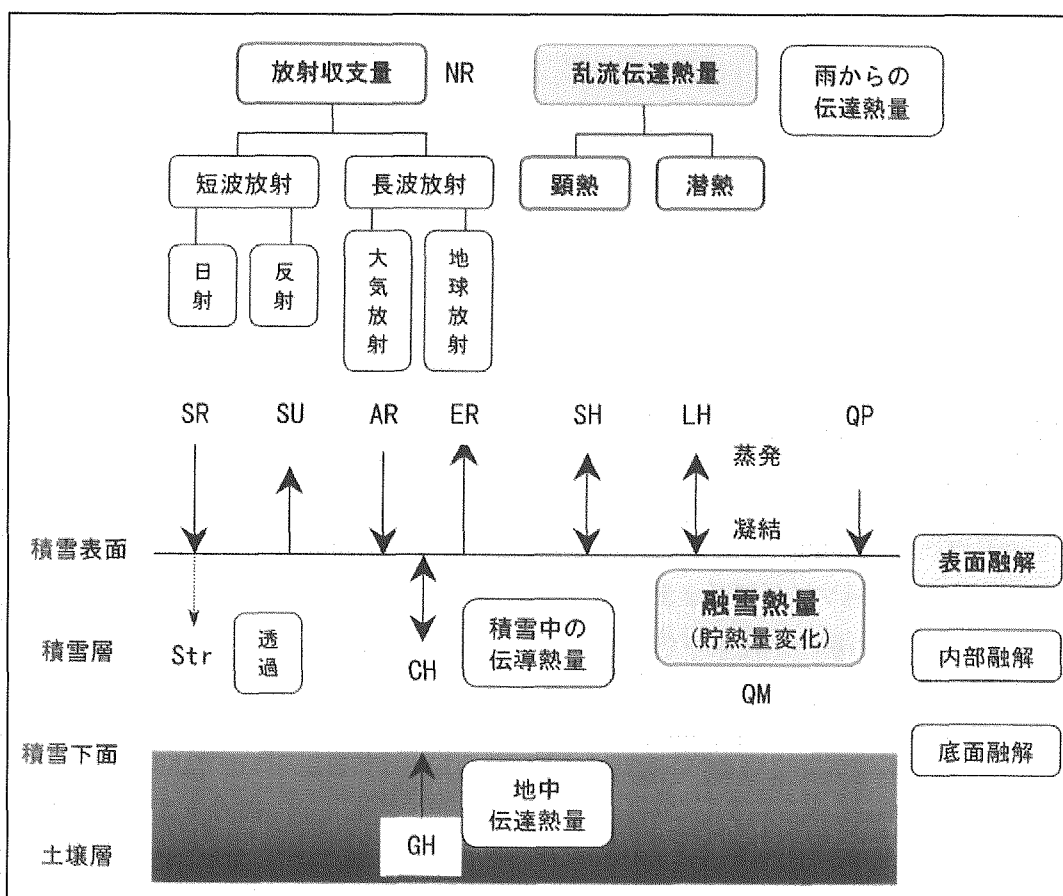
(b) 可能蒸発散量から実蒸発散量の推定

式(1)で算出される値は大気側の要求する最大の蒸発散量である。しかしながら、現実には地表面側のコントロールが効くため、実際の蒸発散量はその値より小さくなる。実際の蒸発散量と可能蒸発散量の関係として Penman はその比 (蒸発散係数) を 0.6 (11月~2月), 0.7(3~4月, 9~10月), 0.8(5~8月), 0.75(年平均)とイギリスの場合に求めている。本調査では、北海道の蒸発散係数の代表値として 0.65 (中尾欣四郎, 1971) を用いて実蒸発散量を算出した。

(2) バルク法

北進観測所の周辺環境は周囲が開けほぼ平坦である。また、植生は草地であるが、冬期は積雪に覆われる環境である。蒸発散量を算出する際に、ペンマン法は水面や粗度の小さな地表面に対して利用できるが地表面が積雪に覆われた時期には適していない。そのため、積雪期は水面や積雪面からの蒸発散量の算出に有効とされるバルク法を採用した。

付図 2.1 に積雪層に出入りする熱量の概念図を表す。



付図 2.1 積雪層に出入りする熱量の概念図

放射収支量 (NR) は積雪に照射される日射量 (SR) と反射量 (SU) の差、および大気や雲からの長波放射 (AR)、積雪表面からの長波放射 (ER) の授受総量であり、正味積雪に吸収された放射量を表す。積雪中の伝導熱量 (CH) は積雪層中の温度勾配に比例して積雪中を伝わる熱量、地中熱流量 (GH) は土壌から積雪底面に与えられる熱量である。また、降雨によっても積雪層には熱量が伝達される (QP)。顕熱伝達量 (SH) は風によって輸送される大気を持つ熱量、潜熱伝達量 (LH) は風を介して大気中の水蒸気が雪面へ凝結、もしくは蒸発する際に輸送される量である。

顕熱伝達量，潜熱伝達量は，気温，大気中の水蒸気，および風速に依存し，昼夜の別を問わず積雪に接する大気の状態によって熱量，輸送方向が決定される。

次に顕熱伝達量，潜熱伝達量を求めるバルク式を示す。

$$SH = \rho C_p K_H (AT - ST) WS \dots\dots\dots (9)$$

$$LH = \rho L K_E (Aq - Sq) WS \dots\dots\dots (10)$$

- SH : 顕熱輸送量
- LH : 潜熱輸送量
- ρ : 大気の密度(g/cm³)
- C_p : 大気の定圧比熱(1.004J/kg/K)
- L : 水の蒸発による潜熱(cal/g)
- AT : 一高度(1.5m)の気温 (°C)
- Aq : 一高度(1.5m)の比湿(%/%)
- ST : 積雪表面温度 (°C)
- Sq : 積雪表面の比湿(%/%)
- WS : 一高度(2m)の風速(cm/s)
- K_H : 顕熱伝達量の無次元バルク係数
- K_E : 潜熱伝達量の無次元バルク係数

大気の比湿は気温と相対湿度から，積雪表面の比湿は積雪表面温度の飽和比湿にほかならないことから，積雪表面温度から算出する。積雪表面からの蒸発量は，潜熱伝達量を蒸発の潜熱で除すことで求められる。式(10)中の水の蒸発による潜熱は式(7)により求められる。

式(10)中の大気の密度 ρ は大気圧 P と氷面上の水蒸気圧 e を用いて式(11)で表される。

$$\rho = 1.293 \times \frac{273.15}{273.15 + T} \times \left(\frac{P}{1013.25} \right) \times \left(1 - 0.378 \frac{e}{P} \right) \dots\dots\dots (11)$$

また，雪面上の水蒸気圧(e)は気温(T)と湿度(RH)を用いて式(12)で表される。

$$e = e_{sat} \times \frac{RH}{100}$$

$$= 6.1078 \times 10^{9.5 \times T / (265.3 + T)} \times \frac{RH}{100} \dots\dots\dots (12)$$

次に比湿は水蒸気圧(e)と気圧(P)を用いて式(13)で表される。

$$e = \frac{0.622 \times e}{P - 0.378 \times e} \dots\dots\dots(13)$$

積雪表面の比湿は雪面（地表面）温度における飽和比湿にほかならないが、雪面温度は 0°C 以上にならないといわれている（日本気象学会，2001）。このことから、積雪深が 1cm 以上ある条件下で雪面温度が 0°C を超えた場合、測定された雪面温度は測定による誤差であるとし雪面温度は 0°C として扱った。一方、積雪がない場合は地表面の温度として観測値をそのまま用いた。

バルク係数は中立状態では $K_H=K_E$ であるが、大気安定度や風速に依存する。積雪面上などの安定大気の下では $K_H=K_E$ が仮定でき（Mail and Granger, 1981），なめらかな積雪表面のバルク係数として $2.0\sim 2.3 \times 10^{-3}$ が得られている。北進観測所では、北海道北部の積雪地帯における野外実験から得られた 2.3×10^{-3} をバルク係数（Ishikawa and Kodama, 1994）として用いて良いと考えられる。

$$K_H = K_E = 2.3 \times 10^{-3} \dots\dots\dots(14)$$

(3) 傾度法

傾度法により蒸発散量を算出する際には、風速と高度が対数則の関係となっているかを検証し、地面修正量を算出する必要がある。以下に地面修正量および蒸発散量の算出手法を示す。

傾度法は、蒸発散量が風速による関数と水面と空気の水蒸気圧の差に関係することが原理である。傾度法の基本式を式(15)に示す。

$$E = f(u)(e_s - e_a) \dots\dots\dots(15)$$

E : 蒸発散量

$f(u)$: 風速 u の関数

e_s : 蒸発面の水蒸気圧(hPa)

e_a : 蒸発面上のある高さの水蒸気圧(hPa)

樹冠付近では大気が移動すると、樹冠と大気間に生ずる摩擦のため、樹冠付近の大気は一般に乱流状態となっている。このことから、傾度法に用いる風速、比湿、気温は乱流状態の中で変動していると考えられ、このような乱流状態で生ずる拡散を乱流拡散という。このことから、傾度法に用いる風速や水蒸気圧差はそれぞれ「運動量の乱流拡散係数」や「水蒸気の乱流拡散係数」として考える必要がある。

一方、乱流状態における蒸発散は、樹冠を通過する風の間を生じた摩擦に起因する乱流や気温、比湿の鉛直差に依存すると考えられる。そこで、まず乱流状態における風速、気温、湿度のとらえ方、次に乱流状態における蒸発散量について考える。

乱流状態にある樹冠付近の風速は、「平均風速」と大気の乱れによる「変動成分」で表現される。乱流状態の風速を水平成分と垂直成分に分離するとそれぞれの瞬間風速は式(16)、式(17)で表される。

$$u = U + u' \dots\dots\dots(16)$$

u : 水平方向の瞬間風速(cm/s)

U : 水平方向の平均風速(cm/s)

u' : 水平方向の風速の変動成分(cm/s)

$$v = V + v' \dots\dots\dots(17)$$

v : 鉛直方向の瞬間風速(cm/s)

V : 鉛直方向の平均風速(cm/s)

v' : 鉛直方向の風速の変動成分(cm/s)

同様に乱流状態では、気温 (T)、比湿 (q) についても式(18)、式(19)のように表せる。

$$T = \bar{T} - T' \dots\dots\dots(18)$$

T : 気温 (°C)
 \bar{T} : 時間平均の気温 (°C)
 T' : 気温の変動成分 (°C)

$$q = \bar{q} - q' \dots\dots\dots(19)$$

q : 比湿 (%/%)
 \bar{q} : 時間平均の比湿 (%/%)
 q' : 比湿の変動成分 (%/%)

蒸発散量 E は比湿, 風速, 空気の密度を用いて式(20)で表される。

$$E = \rho \times q \times v \dots\dots\dots(20)$$

ρ : 空気の密度(g/cm³)
 v : 鉛直方向の瞬間風速(cm/s)

式(20)の q と v に, 乱流状態における式(17)と式(19)を代入すると式(21)が導かれる。

$$E = \rho \times \overline{q' \times v'} \dots\dots\dots(21)$$

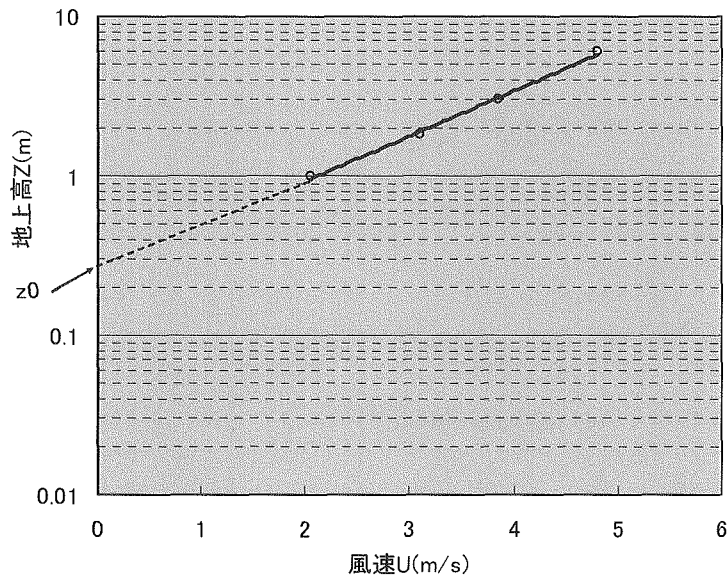
式(21)は樹冠上の比湿に鉛直分布がある場合, 巨視的時間でみると, 鉛直方向の風速の変動成分 v' から蒸発散量が算出できることを示している。このことは, ある地点における鉛直方向の風速, 気温, 比湿の変動成分から蒸発散量が求められることを示している。風速の鉛直分布は樹冠との摩擦によって発生しており, せん断応力は異なる高度における風速の差で表すことができることから, 風速の鉛直分布から鉛直方向の風速の変動成分を推定することができる。

ここで, 水平で一様な平坦地における接地境界層の風速鉛直分布は式(22)に示すような「対数則」に従う。

$$U(z) = \frac{U_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0} \dots\dots\dots(22)$$

z : 地表からの高さ(cm)
 $U(z)$: 高さ z の風速(cm/s)
 U_* : 摩擦速度(cm/s)
 κ : カルマン定数(0.41)
 z_0 : 粗度(cm)

この対数則が成り立つ場合、付図 2.2 に示すように縦軸を対数軸として地表面からの高さを取り、横軸に風速をとってプロットすると観測値はほぼ一直線に並ぶ。その線を下方に延長して $U=0$ になる高度が z_0 である。 z_0 はあくまでも積分定数であり、 $z = z_0$ で実際の風速が 0 になる意味ではない。

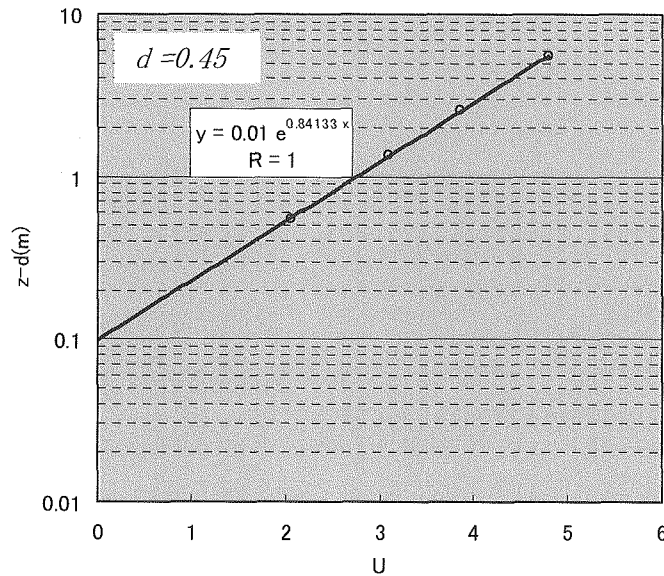


付図 2.2 風速の鉛直分布の観測から粗度 z_0 を求める方法
(近藤(1994)に加筆修正)

一方、植生地の場合は、風速に対する地表面の基準は不明確である。そこで適当に地表面の基準を試行錯誤で決めると風速の対数分布が得られる。そのとき風速と地表面基準からの風速の観測高さとの相関係数が最もよくなるような地表面基準を地面修正量と呼ぶ。付図 2.3 は地面修正量を 0.45(m)とした場合の例である。この例では $z_0=0.1$ (m)となる。この地面修正量(d)を用いて風速の「対数則」は式(23)のように表せる。したがって、 z_0 と d は風速の鉛直分布の観測から同時に求めることができる。 z_0 は地物の幾何学的な高さ h とその配列状態に依存する。代表的な地表面における z_0 の概略値を付表 2.1 に示した。地物がまばらな場合は $d=0$ であるが、多くの畑作地は $d=0.7h$ 程度、森林ではよると平均樹高の 61~92%、平均 78% (服部重昭, 1985) といわれている。また、地物が非常に密の場合は $d=h$ に漸近する。

付表 2.1 各種地表面の粗度 z_0 の概略値
(近藤(1994)に加筆修正)

地表面状態	粗度(z_0)
森林	0.3~1.0(m)
草地	0.01~0.03(m)
平らな積雪面	1.4×10^{-4}
平らな裸地	10^{-4}



付図 2.3 植生地で風速分布の観測から
地面修正量 (d) と粗度 (z_0) を求める一例

$$U(z) = \frac{U_*}{\kappa} \ln \frac{z-d}{z_0} \dots\dots\dots(23)$$

- z : 地表からの高さ(cm)
- $U(z)$: 高さ z の風速(cm/s)
- U_* : 摩擦速度(cm/s)
- κ : カルマン定数(0.41)
- z_0 : 粗度(cm)
- d : 地面修正量(cm)

風速の鉛直分布と乱流状態における風速の変動は以下のように関連付けされる。まず、風速の変動成分と局所的な風のながれ状態を比例定数で結びつけると式(24)のようになる。

$$-u'v' = Km \times \frac{dU}{dz} \dots\dots\dots(24)$$

u' : 水平主流方向の風速の変動成分(cm/s)

v' : 鉛直方向の風速の変動成分(cm/s)

Km : 運動量の乱流拡散係数(cm²/s)

$\frac{dU}{dz}$: 局所的な流れの状態 (変化率)

また, $-u'v'$ が高さによって変わらないと仮定すると式(25), 式(26)になる。

$$-u'v' = U_* \dots\dots\dots(25)$$

$$Km = kU_* \times (z - d) \dots\dots\dots(26)$$

ここで, 式(26)の関係式と $z = d + z_0$ で $U=0$ となる境界条件を与えると式(23)の関係式が得られることから, 上記式は境界条件が成り立てば風速の変動成分と風速の垂直分布の関係が対数法則の下で成り立っているといえる。

上記式 Km は運動量の乱流拡散係数であり, 式(26)で示すように摩擦速度と高度($z-d$)は比例する。これは風の乱れが渦の集合からなっており, 渦の大きさが境界面からの距離とともに大きくなり, 風速の増加につれて渦が空気を混合することを示している。これらの前提となっている式(24)はこの関係からもたらされる対数法則による風速の鉛直分布が実際の現象とよく一致することから式(24)の仮定は乱流変動を風速の鉛直分布と結びつける関係式として妥当であると考えられている。

風速の鉛直分布を運動量の乱流拡散係数を導入して求めたのと同様に, 比湿の垂直分布も乱流拡散係数を導入すると式(27)のようになる。

$$E = -\rho \times Kv \times \frac{dq}{dz} \dots\dots\dots(27)$$

E : 蒸発散量(g/cm²/s)

ρ : 空気の密度(g/cm³)

Kv : 潜熱輸送の乱流拡散係数(cm²/s)

$\frac{dq}{dz}$: 鉛直方向の比湿変化率(%/%)

傾度法では、乱流状態における風速と比湿の鉛直差を乱流拡散係数を用いて表している。したがって傾度法による蒸発散量算出式は式(26)と式(27)から導き出され式(28)で表される。

このように、傾度法では樹冠上の2高度の風速と比湿（湿度，気温）から蒸発散量を算出できる。ただし、前提条件として観測地点において風速の鉛直分布が対数法則で分布していることを確認する必要がある。

$$E = \frac{-\rho \times \kappa^2 \times (q_2 - q_1) \times (u_2 - u_1)}{\left(\ln \frac{z_2 - d}{z_1 - d}\right)^2} \dots\dots\dots(28)$$

u_1, u_2 : 2高度の風速

q_1, q_2 : 2高度の比湿

(4) ボーエン比熱収支法

ボーエン比熱収支法は、地表がうける放射エネルギーから求める。森林における熱収支は式(29)で表される。

$$R_n = H + LE + G + K \dots\dots\dots(29)$$

R_n : 地表が受ける放射エネルギー (純放射量)

H : 顕熱フラックス

LE : 蒸発散による潜熱フラックス

G : 地中熱流量

K : 光合成による二酸化炭素の固定

潜熱フラックスは蒸発潜熱 L と蒸発散量 E の積で表される。顕熱フラックス H は地表付近で暖められた空気が上空に運ばれる熱量である。光合成による二酸化炭素の固定 K は植物を生成する重要な要素ではあるが放射エネルギーに比べ非常に小さいため無視できる。したがって、純放射量と地中熱流量の計測、潜熱、顕熱フラックスの関係を明確にすれば蒸発散量を推定できる (塚本, 1992)。

また、ボーエン比 (β) は顕熱フラックスと潜熱フラックスの比であり式(30)で表される。

$$\beta = \frac{H}{LE} \dots\dots\dots(30)$$

次に顕熱フラックスと潜熱フラックスの微分項を差分近似するとそれぞれ式(31)、式(32)になる。

$$H = -\rho \times C_p \times Kh \times \frac{T_2 - T_1}{z_2 - z_1} \dots\dots\dots(31)$$

$$LE = -\frac{\rho \times C_p}{\gamma} \times K_v \times \frac{e_2 - e_1}{z_2 - z_1} \dots\dots\dots(32)$$

Kh : 顕熱の乱流拡散係数

K_v : 潜熱の乱流拡散係数

γ : 乾湿計定数

式(31)と式(32)を式(30)に代入し、顕熱と潜熱の乱流拡散係数がほぼ等しいためボーエン比は式(33)で表される。また、ボーエン比を用いて蒸発散量を式(34)に示す。

$$\beta = \gamma \times \frac{T_2 - T_1}{e_2 - e_1} \dots\dots\dots(33)$$

T_1, T_2 : 2 高度の気温
 e_1, e_2 : 2 高度の水蒸気圧

$$E = \frac{Rn - G}{L \times (1 + \beta)} \dots\dots\dots(34)$$

式(33)の中の γ は乾湿計定数と呼ばれ、式(35)で表される。

$$\gamma = \frac{C_p \times P}{0.622 \times L} \dots\dots\dots(35)$$

C_p : 定圧比熱(1005J/kg/K)
 P : 気圧
 L : 水の蒸発による潜熱(cal/g)

ここで水の蒸発による潜熱 L は式(36)で表される。

$$\begin{aligned} L &= 2.50025 \times 10^6 - 2.365 \times 10^3 \times T \quad [\text{J/kg}] \\ &= (2.50025 \times 10^6 - 2.365 \times 10^3 \times T) \times 23.92 \times 10^{-5} \quad [\text{cal/g}] \dots\dots\dots(36) \end{aligned}$$

式(33)中の水蒸気圧(e_1, e_2)は気温(T)と湿度(RH)を用いて式(37)で表される。

$$\begin{aligned} e &= e_{sat} \times \frac{RH}{100} \\ &= 6.1078 \times 10^{7.5 \times T / (237.3 + T)} \times \frac{RH}{100} \dots\dots\dots(37) \end{aligned}$$

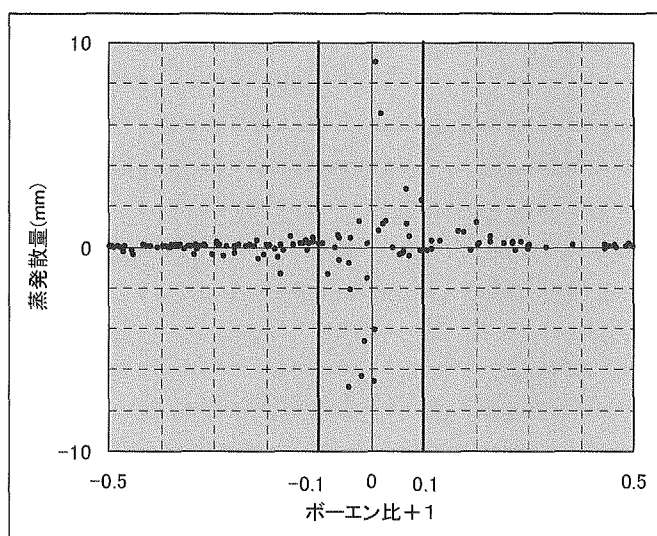
以上より 2 高度の気温、水蒸気圧および乾湿度定数からボーエン比が求められ、純放射量から地中熱流量を減じた有効放射量から潜熱フラックスが算出できる。また、ボーエン比熱収支法はエネルギー収支であることから測定高度より下で顕熱、潜熱の出入りがないことが前提条件である。

次に北進蒸発散量観測タワーの実際の観測結果を用いたボーエン比熱収支法の適用条件について検討した結果について示す。

ボーエン比は式(33)で表され、2 高度の蒸気圧差に反比例する。冬期は 2 高度間の蒸気圧差が非常に小さく、ボーエン比は分母の ($e_2 - e_1$) が 0 に近づき発散または非常に

大きな値となり、結果として蒸発散量はほとんど0に収束してしまう。なお、現実的な冬期のボーエン比は大きくても6~7程度（気象ハンドブック、1995）である。

一方、式(34)の $(1+\beta)$ の値が0に近づくと蒸発散量は非常に大きな値となる。付図2.4に北進蒸発散量観測タワーを設置した2004年11月から2005年2月の観測における（ボーエン比+1）の値と蒸発散量の関係を示す。（ボーエン比+1）の値が-0.1~+0.1の場合に異常な大きさの蒸発散量が計算されることがわかった。したがって（ボーエン比+1）の値が-0.1~+0.1の場合は蒸発散量を求めないこととした。



付図 2.4 ボーエン比+1と蒸発散量の関係

以上のことから、北進蒸発散量観測タワーの観測結果を用いて蒸発散量を算出する際には次の2つの条件で算出することとした。

条件1：ボーエン比の絶対値が7以下であること。

条件2： $(1+\text{ボーエン比})$ の絶対値が0.1以上であること。

(5) その他の算出手法

ソーンスウェイト法とハーモン法の算出手法を示す（水理公式集，1985）。これらの手法は，気温のみを用いた簡易な手法で植生等の細かい条件を考慮していない。そのため，広域的な蒸発散量の推定手法として，求めた値は前述した他の手法で求めた値を検討する場合の対比対象として扱うことが可能である。

(a) ハーモン法

ハーモン法は，日平均気温と緯度に応じた可照時間から可能蒸発散量を以下の式で算出する方法である。

$$E_p = 0.14 \times D_0 \times P_t \dots\dots\dots(38)$$

- E_p : 可能蒸発散量
- D_0 : 可照時間（12時間を1単位とする）
- P_t : 日平均気温に対する飽和絶対湿度(gm/m³)

また，ハーモン法は日照時間が12時間の日が30日間ある月を標準とし可能蒸発散量を算出する手法であるため，緯度に応じて昼の長さを補正する必要がある。幌延町北進地区では北緯45°，東経142°とし日の出時刻と日の入り時刻を算出しこれらの時刻差から可照時間を求める。

また，飽和絶対湿度は気温(K)を用いて次の式で与えられる。

$$P_t = 0.2167(e/T) \text{ [kg/m}^3\text{]} \\ = 0.2167(e/T) \times 1000 \text{ [g/m}^3\text{]} \dots\dots\dots(39)$$

- e : 水蒸気圧(hPa)
- T : 気温（絶対温度）[K] $T \text{ [K]} = 273.15 + t \text{ [}^\circ\text{C]}$

なお，飽和水蒸気圧は次の式で与えられる。

$$e_{\text{sat}} = 6.1078 \times 10^{(7.5 \times T)/(237.3 + T)} \dots\dots\dots(40)$$

(b) ソーンズウェイト法

ソーンズウェイト法は、丈の低い草地で密に覆われた地表面から、水不足が起こらない完全湿面の状態で失われる蒸発散量を可能蒸発散量として算出する手法である。以下の式で表される。

$$Ep = 0.533D_0 \left(\frac{10t_j}{J} \right)^a \dots\dots\dots(41)$$

$$a = (492390 + 17920 \times J - 77.1 \times J^2 + 0.675 \times J^3) \times 10^{-6} \dots\dots\dots(42)$$

$$J = \sum_{j=1}^{12} \left(\frac{t_j}{5} \right)^{1.514} \dots\dots\dots(43)$$

Ep : 可能蒸発散量(mm/day)

D_0 : 可照時間 (12 時間を 1 単位とする。)

J : 熱示数

t_j : j 月の月平均気温 (°C)

ソーンズウェイト法は、アメリカ合衆国の実測値に合うように経験的に定められた月ごとの可能蒸発散量を算出する方法である。必要な気象要素は気温だけである。また、ソーンズウェイト法はハーモン法と同様、日照時間が 12 時間の日が 30 日間ある月を標準とし可能蒸発散量を算出する手法であるため、緯度に応じて昼の長さを補正する必要がある。幌延町北進地区では北緯 45°，東経 142° とし日の出時刻と日の入り時刻を算出しこれらの時刻差から可照時間を求める。

また、ソーンズウェイト法の適用範囲は気温が 0~26.5°C であるため気温が 0°C 以下の場合には蒸発散量を 0mm とする。

参考文献

H. L. Penman: "Natural evaporation from open water, bare soil, and grass", Royal Society, Series A, 193, pp.120-146 (1948).

中尾欣四郎: "湖沼水位の安定性についての研究", 北海道大学地球物理学研究報告, 第25号, pp.25-87 (1971).

日本気象学会: "地表面フラックス測定法", 気象研究ノート, 第199号, p.194 (2001).

D. H. Mail and R. J. Granger : Snow surface energy exchange, Water Reour. Res., 17, pp.609-627 (1981).

N. Ishikawa and Y. Kodama : "Transfer coefficients of sensible heat on a snowmelt surface", Meteorol. Atmos. phy., 53, pp.233-240 (1994).

近藤純正: 水環境の気象学 地表面の水収支・熱収支, 初版, 朝倉書店, pp.100~101 (1994).

服部重昭: "蒸発散推定式の誘導過程の解説と林分への適用における問題点", 林試研報, No.332, pp.139-165 (1985).

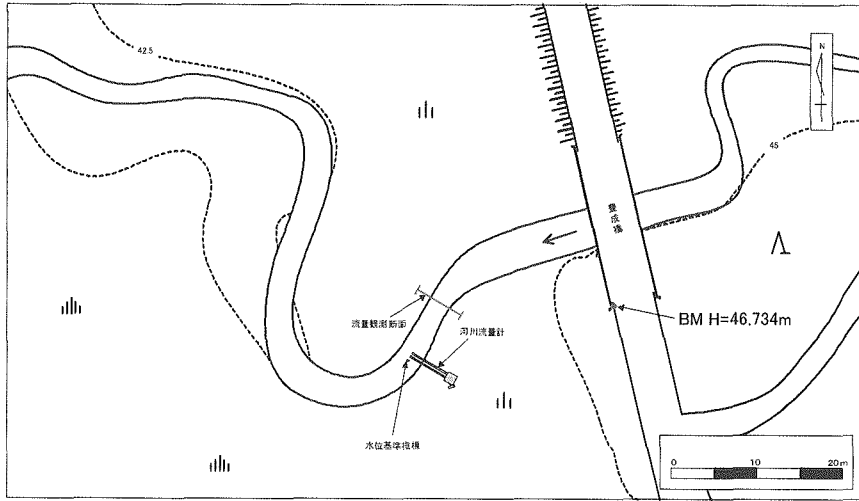
塚本良則: 森林水文学, 初版, 文永堂出版, pp.61-68 (1992).

朝倉正: 気象ハンドブック, 新版, 朝倉書店, p.419 (1995).

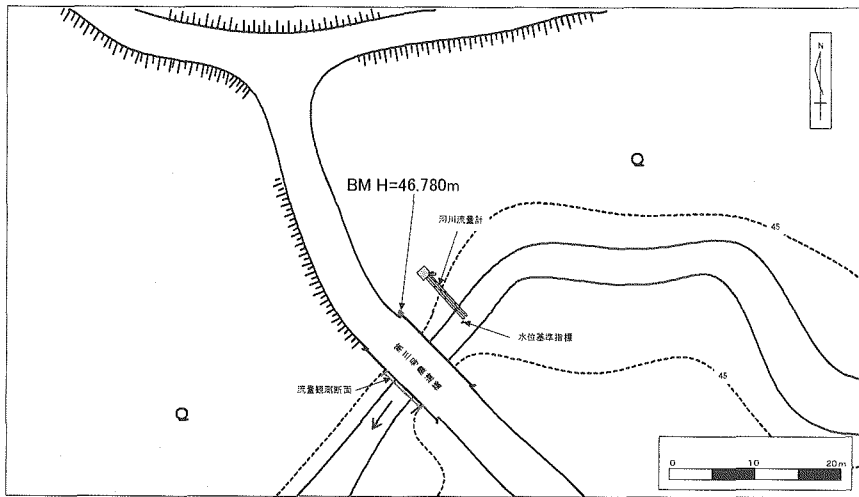
土木学会編: 水理公式集, 土木学会, p.625 (1985).

3. 河川流量観測データ

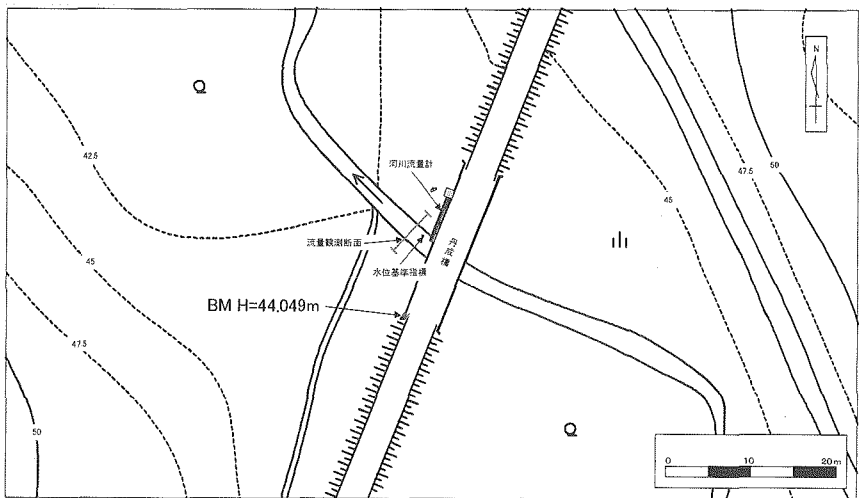
- ・河川横断測量位置図
- ・河川横断測量基準点概念図
- ・河川横断測量図
- ・流量観測表
- ・H-Q 曲線式の算定方法



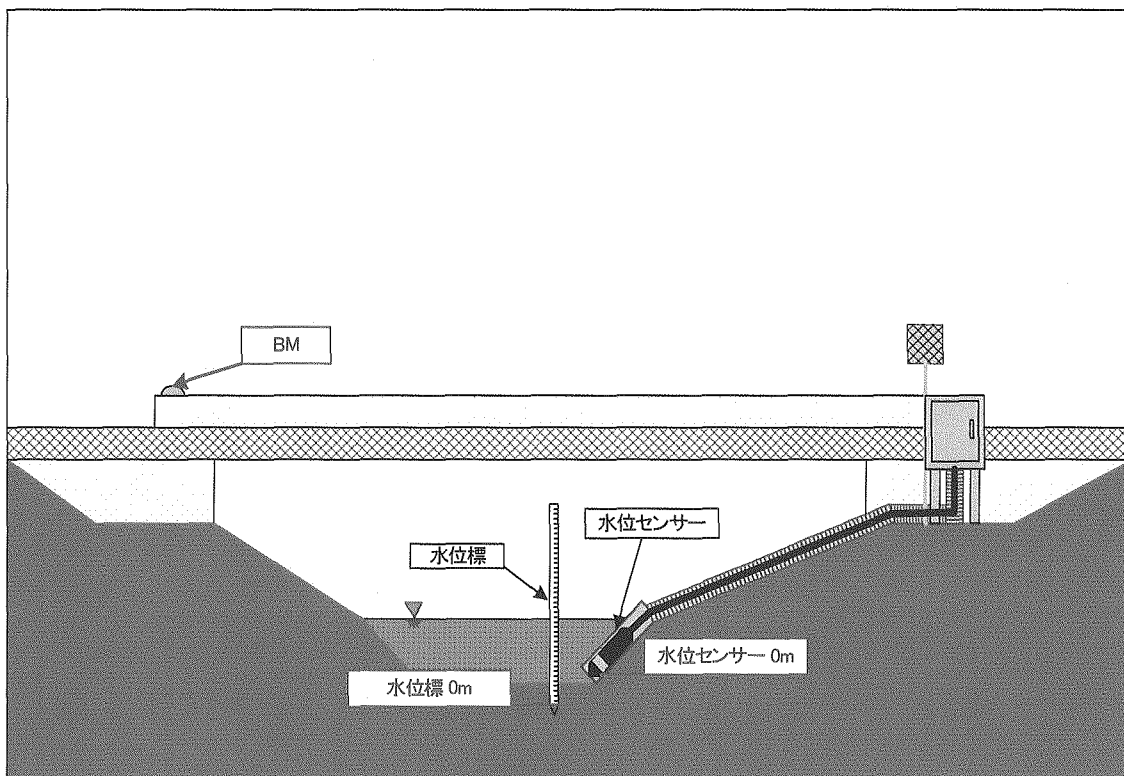
付図 3.1(1) 河川横断測量位置図 (P-1 地点)



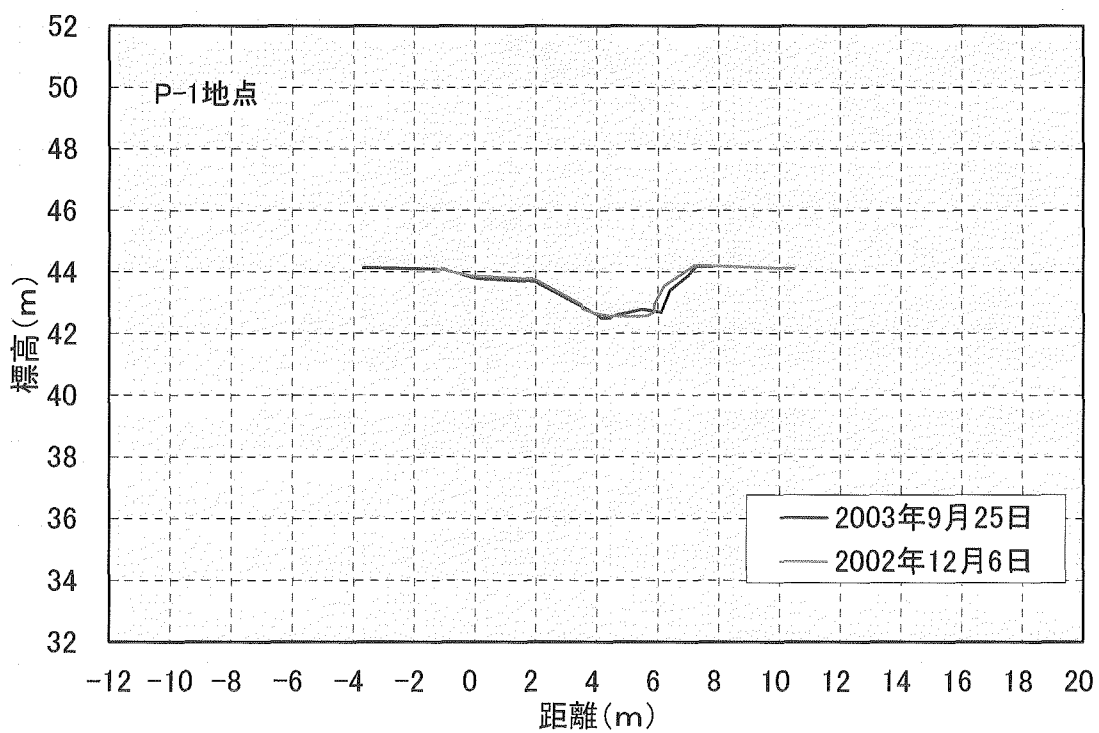
付図 3.1(2) 河川横断測量位置図 (P-2 地点)



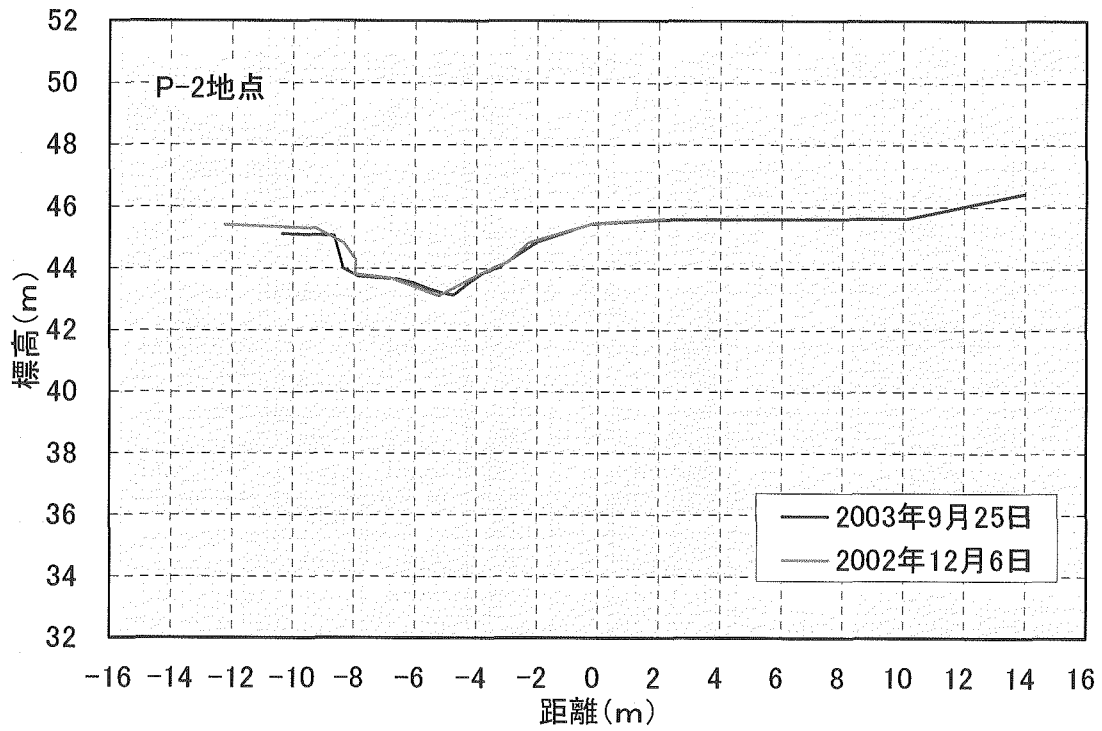
付図 3.1(3) 河川横断測量位置図 (P-3 地点)



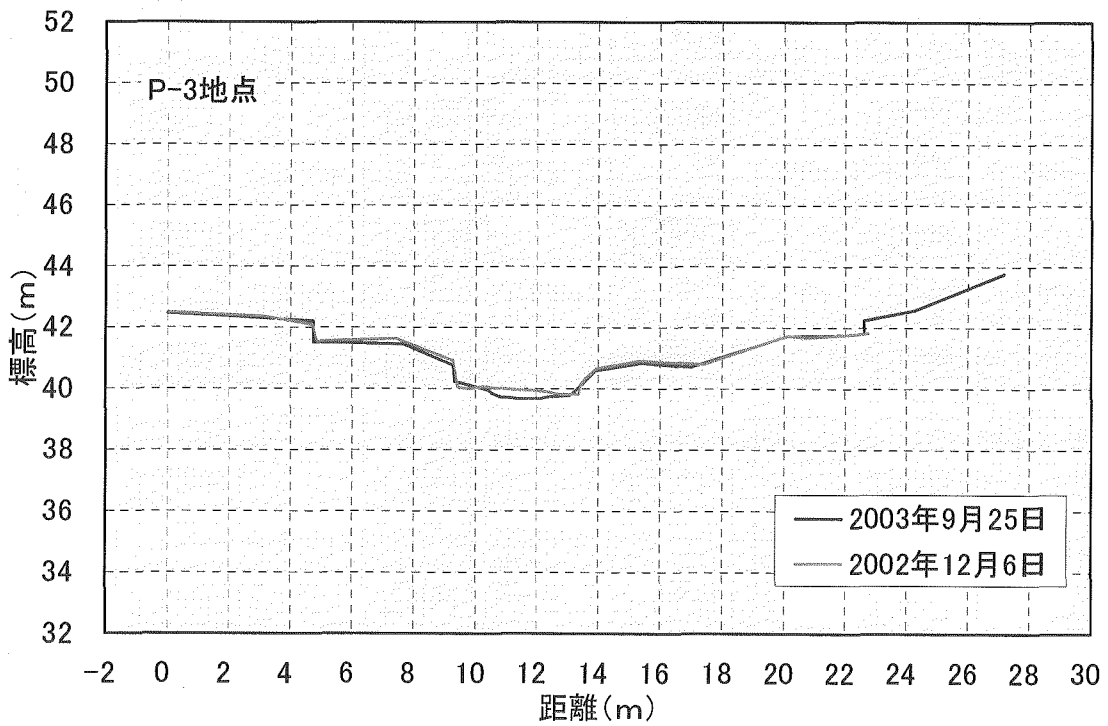
付図 3.2 河川横断測量基準点概念図



付図 3.3(1) 河川横断測量図 (P-1 地点)



付図 3.3(2) 河川横断測量図 (P-2 地点)



付図 3.3(3) 河川横断測量図 (P-3 地点)

付表 3.1(1) 流量観測表 (P-1 地点)

水系名	天塩川	河川名	二号川	観測所名	P-1	流域面積	4.405 km ²						
No.	観測年月日	水位	流 量		全断面積	平均流速	流出高	河川状況	H-Q曲線式適用データ				
		(m) H	(m ³ /s) Q	\sqrt{Q}	(m ²) A	(m/s) V	(mm/hr)		2002年度式		2003年度式	2004年度式	
									式①	式②		式①	式②
1	2002/10/31	43.13	0.642	0.801	1.140	0.563	0.525			○	—	—	—
2	2002/11/12	43.14	0.768	0.876	1.119	0.686	0.628			○	—	—	—
3	2002/11/13	43.02	0.403	0.635	0.692	0.582	0.329			○	—	—	—
4	2002/11/28	42.97	0.353	0.594	0.690	0.512	0.288		○	○	—	—	—
5	2002/12/06	42.90	0.213	0.462	0.438	0.486	0.174		○		—	—	—
6	2002/12/19	42.79	0.049	0.221	0.165	0.297	0.040		○		—	—	—
7	2003/01/17	42.73	0.013	0.114	0.163	0.080	0.011	半結氷	○		—	—	—
8	2003/01/30	42.76	0.009	0.095	0.060	0.150	0.007	結氷	—	—	—	—	—
9	2003/02/13	42.74	0.010	0.100	0.085	0.118	0.008	結氷	—	—	—	—	—
10	2003/03/04	42.77	0.002	0.045	0.023	0.087	0.002	結氷	—	—	○	—	—
11	2003/09/25	42.82	0.014	0.118	0.038	0.368	0.011		—	—	○	—	—
12	2003/09/26	42.88	0.046	0.214	0.192	0.240	0.038		—	—	○	—	—
P1-1	2004/01/29	42.83	0.014	0.118	0.165	0.085	0.011	結氷	—	—	—	—	—
P1-2	2004/02/12	42.85	0.019	0.138	0.211	0.090	0.016	結氷	—	—	—	—	—
P1-3	2004/02/26	42.88	0.012	0.110	0.266	0.045	0.010	結氷	—	—	—	—	—
P1-4	2004/03/11	43.55	0.034	0.184	0.530	0.064	0.028	結氷	—	—	—	—	—
P1-5	2004/03/25	43.16	0.404	0.636	1.063	0.380	0.330	結氷	—	—	—	—	—
P1-6	2004/04/01	43.22	0.642	0.801	1.132	0.567	0.525		—	—	—		○
P1-7	2004/04/08	43.26	0.748	0.865	1.358	0.551	0.611		—	—	—		○
P1-8	2004/04/15	43.20	0.656	0.810	1.081	0.607	0.536		—	—	—		○
P1-9	2004/04/22	43.16	0.595	0.771	0.956	0.622	0.486		—	—	—		○
P1-10	2004/04/28	43.06	0.366	0.605	0.696	0.526	0.299		—	—	—		○
P1-11	2004/05/13	42.90	0.138	0.371	0.313	0.441	0.113		—	—	—	○	
P1-12	2004/05/28	42.87	0.084	0.290	0.252	0.333	0.069		—	—	—	○	
P1-13	2004/06/09	42.84	0.045	0.212	0.145	0.310	0.037		—	—	—	○	
P1-14	2004/06/22	42.85	0.046	0.214	0.118	0.390	0.038		—	—	—	○	
P1-15	2004/07/08	42.88	0.097	0.311	0.254	0.382	0.079		—	—	—	○	
P1-16	2004/07/20	42.84	0.042	0.205	0.177	0.237	0.034		—	—	—	○	
P1-17	2004/08/10	42.85	0.076	0.276	0.365	0.208	0.062		—	—	—	○	
P1-18	2004/08/20	42.81	0.032	0.179	0.187	0.171	0.026		—	—	—	○	
P1-19	2004/09/02	42.81	0.032	0.179	0.178	0.180	0.026		—	—	—	○	
P1-20	2004/09/17	42.94	0.205	0.453	0.454	0.452	0.168		—	—	—		○
P1-21	2004/10/13	42.86	0.068	0.261	0.245	0.278	0.056		—	—	—	○	
P1-22	2004/10/14	42.84	0.043	0.207	0.193	0.223	0.035		—	—	—	○	
P1-23	2004/11/09	42.93	0.188	0.434	0.383	0.491	0.154		—	—	—		○

付表 3.1(2) 流量観測表 (P-2 地点)

水系名	天塩川	河川名	ベンケエベコロベツ川		観測所名	P-2	流域面積	19.747 km ²						
No.	観測年月日	水位	流 量		全断面積 (m ²) A	平均流速 (m/s) V	流出高 (mm/hr)	河川状況	H-Q曲線式適用テ一タ					
		(m) H	(m ³ /s) Q	\sqrt{Q}					2002年度式 式①	2002年度式 式②	2003年度式 式①	2003年度式 式②	2004 年度式	
1	2002/10/31	44.45	2.697	1.642	2.842	0.949	0.492			○		○		—
2	2002/11/12	44.50	3.013	1.736	3.092	0.974	0.549			○		○		—
3	2002/11/13	44.35	2.289	1.513	2.960	0.773	0.417			○		○		—
4	2002/11/28	44.23	1.173	1.083	2.144	0.547	0.214		○		○			—
5	2002/12/06	44.23	1.287	1.134	2.217	0.580	0.235		○		○			—
6	2002/12/19	44.10	0.238	0.488	0.998	0.238	0.043	半結氷	○		○			—
7	2003/01/17	44.10	0.108	0.329	0.880	0.123	0.020	結氷	—	—	—	—	—	—
8	2003/01/30	44.24	0.070	0.264	0.718	0.097	0.013	結氷	—	—	—	—	—	—
9	2003/02/13	44.12	0.090	0.300	0.926	0.097	0.016	結氷	—	—	—	—	—	—
10	2003/03/04	44.23	0.077	0.277	0.704	0.109	0.014	結氷	—	—	—	—	—	—
11	2003/09/25	44.02	0.082	0.286	0.470	0.174	0.015		—	—	○			—
12	2003/09/26	44.09	0.243	0.493	0.621	0.391	0.044		—	—	○			—
P2-1	2004/01/29	44.12	0.111	0.333	1.301	0.085	0.020	結氷	—	—	—	—	—	○
P2-2	2004/02/12	44.13	0.125	0.354	1.376	0.091	0.023	結氷	—	—	—	—	—	○
P2-3	2004/02/26	44.33	0.145	0.381	2.362	0.061	0.026	結氷	—	—	—	—	—	—
P2-4	2004/03/11	44.48	0.214	0.463	2.306	0.093	0.039	結氷	—	—	—	—	—	—
P2-5	2004/03/25	44.32	1.774	1.332	2.938	0.604	0.323		—	—	—	—	—	○
P2-6	2004/04/01	44.44	2.986	1.728	3.980	0.750	0.544		—	—	—	—	—	○
P2-7	2004/04/08	44.49	3.025	1.739	4.123	0.734	0.551		—	—	—	—	—	○
P2-8	2004/04/15	44.48	3.163	1.778	3.976	0.796	0.577		—	—	—	—	—	○
P2-9	2004/04/22	44.43	2.772	1.665	3.772	0.735	0.505		—	—	—	—	—	○
P2-10	2004/04/28	44.38	2.133	1.460	3.182	0.670	0.389		—	—	—	—	—	○
P2-11	2004/05/13	44.19	0.690	0.831	2.203	0.313	0.126		—	—	—	—	—	○
P2-12	2004/05/28	44.15	0.382	0.618	1.607	0.238	0.070		—	—	—	—	—	○
P2-13	2004/06/09	44.10	0.250	0.500	1.647	0.152	0.046		—	—	—	—	—	○
P2-14	2004/06/22	44.10	0.212	0.460	1.473	0.144	0.039		—	—	—	—	—	○
P2-15	2004/07/08	44.17	0.554	0.744	1.897	0.292	0.101		—	—	—	—	—	○
P2-16	2004/07/20	44.09	0.245	0.495	1.433	0.171	0.045		—	—	—	—	—	○
P2-17	2004/08/10	44.18	0.309	0.556	2.299	0.134	0.056		—	—	—	—	—	○
P2-18	2004/08/20	44.15	0.182	0.427	2.109	0.086	0.033		—	—	—	—	—	○
P2-19	2004/09/02	44.14	0.174	0.417	1.796	0.097	0.032		—	—	—	—	—	○
P2-20	2004/09/17	44.27	1.005	1.002	2.844	0.353	0.183		—	—	—	—	—	○
P2-21	2004/10/13	44.13	0.298	0.546	1.645	0.181	0.054		—	—	—	—	—	○
P2-22	2004/10/14	44.10	0.184	0.429	1.002	0.184	0.034		—	—	—	—	—	○
P2-23	2004/11/09	44.22	0.717	0.847	2.037	0.352	0.131		—	—	—	—	—	○

付表 3.1(3) 流量観測表 (P-3 地点)

No.	観測年月日	水位 (m)	流量		全断面積 (m ²)	平均流速 (m/s)	流出高 (mm/hr)	河川状況	H-Q曲線式適用データ						
			Q (m ³ /s)	\sqrt{Q}					2002年度式		2003年度式		2004年度式		
		H	Q	\sqrt{Q}	A	V			式①	式②	式①	式②	式①	式②	式③
1	2002/10/30	40.54	1.827	1.352	2.712	0.674	0.860			○					
2	2002/10/31	40.23	0.874	0.935	0.986	0.886	0.411		○	○	○	○			
3	2002/11/11	40.08	0.303	0.550	0.584	0.519	0.143		○		○				
4	2002/11/12	40.30	1.075	1.037	1.340	0.802	0.506			○		○			
5	2002/11/13	40.15	0.483	0.695	0.728	0.663	0.227		○		○				
6	2002/11/28	40.17	0.511	0.715	0.993	0.515	0.241		○		○				
7	2002/12/06	40.08	0.259	0.509	0.670	0.386	0.122		○		○				
8	2002/12/19	40.11	0.049	0.221	0.356	0.138	0.023	結氷							
9	2003/01/17	40.06	0.030	0.173	0.122	0.246	0.014	結氷							
10	2003/01/30	40.11	0.026	0.161	0.148	0.176	0.012	結氷							
11	2003/02/14	40.04	0.035	0.187	0.172	0.203	0.016	結氷							
12	2003/03/04	40.19	0.018	0.134	0.081	0.222	0.008	結氷							
13	2003/09/24	39.96	0.021	0.145	0.142	0.148	0.010				○				
14	2003/09/26	40.03	0.107	0.327	0.370	0.289	0.050				○				
P3-1	2004/01/29	40.06	0.048	0.219	0.445	0.108	0.023	結氷							
P3-2	2004/02/12	40.04	0.037	0.192	0.307	0.120	0.017	結氷							
P3-3	2004/02/26	40.07	0.059	0.243	0.408	0.145	0.028	結氷							
P3-4	2004/03/11	40.10	0.070	0.264	0.323	0.217	0.033	結氷							
P3-5	2004/03/25	40.44	0.628	0.792	1.902	0.330	0.296	結氷							
P3-6	2004/04/01	40.29	0.821	0.906	1.496	0.549	0.387							○	○
P3-7	2004/04/08	40.34	1.086	1.042	1.755	0.619	0.511								○
P3-8	2004/04/15	40.23	0.714	0.845	1.327	0.538	0.336							○	
P3-9	2004/04/22	40.22	0.631	0.794	1.174	0.537	0.297							○	
P3-10	2004/04/28	40.12	0.317	0.563	0.888	0.357	0.149							○	
P3-11	2004/05/13	40.05	0.139	0.373	0.650	0.214	0.065							○	
P3-12	2004/05/28	40.02	0.086	0.293	0.578	0.149	0.040							○	
P3-13	2004/06/09	40.01	0.047	0.217	0.561	0.084	0.022							○	
P3-14	2004/06/22	40.02	0.066	0.257	0.581	0.114	0.031							○	
P3-15	2004/07/08	40.04	0.117	0.342	0.646	0.181	0.055							○	
P3-16	2004/07/20	40.01	0.060	0.245	0.571	0.105	0.028							○	
P3-17	2004/08/10	40.02	0.061	0.247	0.651	0.094	0.029							○	
P3-18	2004/08/20	40.02	0.084	0.290	0.591	0.142	0.040							○	
P3-19	2004/09/02	40.02	0.086	0.293	0.598	0.144	0.040							○	
P3-20	2004/09/17	40.10	0.234	0.484	0.903	0.259	0.110							○	
P3-21	2004/10/04	40.04	0.100	0.316	0.621	0.161	0.047							○	
P3-22	2004/10/13	40.08	0.168	0.410	0.760	0.221	0.079							○	
P3-23	2004/10/14	40.02	0.073	0.270	0.484	0.151	0.034							○	
P3-24	2004/10/29	40.03	0.089	0.298	0.560	0.159	0.042							○	
P3-25	2004/11/04	40.01	0.060	0.245	0.363	0.165	0.028							○	
P3-26	2004/11/09	40.22	0.428	0.654	1.221	0.350	0.201							○	
JWA1-1	2004/11/12	40.58	1.447	1.203	2.420	0.598	0.681								○
P3-27	2004/11/19	40.08	0.200	0.447	0.778	0.257	0.094							○	
P3-28	2004/11/24	40.02	0.098	0.313	0.601	0.163	0.046							○	
JWA1-2	2004/11/26	40.01	0.061	0.247	0.537	0.114	0.029							○	
P3-29	2004/12/02	40.01	0.075	0.274	0.506	0.148	0.035							○	
JWA1-3	2004/12/06	40.04	0.120	0.346	0.723	0.166	0.056							○	
P3-30	2004/12/09	40.07	0.195	0.442	0.912	0.214	0.092							○	
P3-31	2004/12/16	40.04	0.111	0.333	0.631	0.176	0.052							○	
P3-32	2004/12/22	40.05	0.081	0.285	0.558	0.145	0.038	結氷							
P3-33	2005/01/12	40.08	0.046	0.214	0.311	0.148	0.022	結氷							
P3-34	2005/01/20	40.05	0.047	0.217	0.380	0.124	0.022	結氷							
P3-35	2005/01/31	40.06	0.046	0.214	0.537	0.086	0.022	結氷							
P3-36	2005/02/10	40.03	0.028	0.167	0.486	0.058	0.013	結氷							
P3-37	2005/02/18	40.06	0.030	0.173	0.519	0.058	0.014	結氷							
P3-38	2005/03/02	40.04	0.031	0.176	0.406	0.076	0.015	結氷							
P3-39	2005/03/10	40.15	0.075	0.274	0.749	0.100	0.035	結氷							
P3-40	2005/03/18	40.44	0.337	0.580	1.624	0.208	0.159	結氷							
P3-41	2005/03/30	40.12	0.256	0.506	0.922	0.278	0.121								
P3-42	2005/04/07	40.31	0.734	0.857	1.410	0.520	0.346								
P3-43	2005/04/19	40.21	0.471	0.686	1.240	0.380	0.222								
P3-44	2005/04/28	40.33	0.876	0.936	1.717	0.510	0.412								
P3-45	2005/05/12	40.05	0.123	0.351	0.614	0.200	0.058								
P3-46	2005/05/20	40.33	0.868	0.932	1.701	0.510	0.409								
P3-47	2005/06/02	40.00	0.065	0.255	0.476	0.136	0.031								
P3-48	2005/06/09	39.99	0.031	0.176	0.574	0.054	0.015								
P3-49	2005/06/20	39.98	0.023	0.152	0.610	0.038	0.011								
P3-50	2005/07/08	39.96	0.007	0.084	0.483	0.014	0.003								
P3-51	2005/07/21	39.96	0.020	0.141	0.078	0.256	0.009								
P3-52	2005/08/03	39.98	0.045	0.212	0.111	0.405	0.021								
P3-53	2005/08/19	39.95	0.015	0.122	0.069	0.217	0.007								

・H-Q 曲線式の算定方法

適用期間ごとの観測データ群について、水位流量曲線式(H-Q 曲線式)を作成する。水位流量曲線式はひとつの曲線式あるいは水位に対応した複数の曲線式を用いる。曲線式としては2次曲線式 $Q=a(H+b)^2$ が広く用いられている。

2次曲線式の定数(a, b)は観測データ群に最小自乗法を適用することにより求める。以下に算出手順を示す。

① \sqrt{Q} と H を方眼紙にプロットしてほぼ直線になれば本式を適用でき、a, b を最小自乗法により求める。ここにQ, Hは観測流量とそれに対応する水位である。

② 2次曲線式を $\sqrt{Q} = \sqrt{a}(H+b)$ と変形して、 $a' = \sqrt{a}$ 、 $b' = b\sqrt{a}$ とおけば、

$$\sqrt{Q} = a'H + b'$$

となり、ここで V_{err} を観測流量と推算流量との差とすれば次式となる。

$$V_{err} = \sqrt{Q} - a'H - b'$$

いま、データ数をN, 各観測値の和を[]で表すと、最小自乗法の正規式は次のようになる。

$$[\sqrt{Q}] - [H]a' - Nb' = 0$$

$$[H\sqrt{Q}] - [H^2]a' - [H]b' = 0$$

上式をa', b'について解けば、

$$a' = \frac{N[H\sqrt{Q}] - [H] \cdot [\sqrt{Q}]}{N[H^2] - [H]^2}$$

$$b' = \frac{[H^2] \cdot [\sqrt{Q}] - [H] \cdot [H\sqrt{Q}]}{N[H^2] - [H]^2}$$

となる。したがって、

$$Q = a'^2 (H + b'/a')^2$$

として求まる。

参考文献

建設省水文研究会：水文観測，社団法人全日本建設技術協会，pp.236-238（1996）。

付表 3.2 H-Q 曲線式の算定

	適用期間	地点	適用水位 (標高, m)	a'	b'	R ² (R:相関係数)	H-Q 曲線式 水位 H(標高, m), 流量 Q(m ³ /s)	備考
2002 年度式	2002 年 10 月 ~ 2003 年 3 月	P-1	42.930m 未満	2.0326	-86.743	0.9988	Q = 4.131(H-42.676) ²	
			42.930m 以上	1.5693	-66.854	0.9537	Q = 2.463(H-42.601) ²	
		P-2	44.297m 未満	4.7762	-210.140	0.9949	Q = 22.812(H-43.997) ²	
			44.297m 以上	1.4582	-63.162	0.9905	Q = 2.126(H-43.315) ²	
		P-3	40.252m 未満	2.5899	-103.280	0.9711	Q = 6.708(H-39.878) ²	
			40.252m 以上	1.3361	-52.812	0.9996	Q = 1.785(H-39.527) ²	
2003 年度式	2003 年 3 月 ~ 2004 年 3 月	P-1	—	1.5452	-66.044	0.9994	Q = 2.388(H-42.741) ²	
			44.322m 未満	4.1124	-180.800	0.9821	Q = 16.912(H-43.965) ²	2002 年度式と同じ
		44.322m 以上	1.4582	-63.162	0.9905	Q = 2.126(H-43.315) ²		
		P-3	40.240m 未満	2.8619	-114.210	0.9868	Q = 8.190(H-39.907) ²	
			40.240m 以上	1.3361	-52.812	0.9996	Q = 1.785(H-39.527) ²	2002 年度式と同じ
		P-1※	42.947m 未満	2.2113	-94.506	0.9094	Q = 4.890(H-42.738) ²	
42.947m 以上	1.3389		-57.040	0.9936	Q = 1.793(H-42.602) ²			
2004 年度式	2004 年 3 月 ~ 2005 年 3 月※ ※P-1, P-2 地点の 適用期間はこれら を P-4, P-5 に移 設した 2004 年 11 月まで。	P-2※	—	3.6923	-162.430	0.9638	Q = 13.633(H-43.992) ²	
			40.070m 未満	2.9803	-118.990	0.8163	Q = 8.882(H-39.927) ²	
		P-3	40.070m 以上	2.2270	-88.811	0.9356	Q = 4.959(H-39.880) ²	
			40.320m 未満	0.9117	-35.787	0.9049	Q = 0.831(H-39.251) ²	
		P-3	40.320m 以上					