

衛星データと国土数値情報を用いた流域データベースの設計

Design of a Basin-Database based on Satellite Data and National Digital Land Information

東北大学工学部 沢 本 正 樹 Masaki SAWAMOTO
日本IBM(株) 藤 本 美 樹 子 Mikiko FUJIMOTO

Concept of river-basin-database is discussed for runoff analysis. Two kinds of satellite data and the national digital land information are utilized. MOS-1 data and the national digital land information are rearranged into unified format files to represent a river basin in detail spatially. NOAA-AVHRR data are collected as a time series data to analyse a variation of snow field in spring. The basins of the Kamafusa dam and the Tadami River are selected as test fields.

Keywords: river basin database, MOS1, NOAA, national digital land information

1. はじめに

水文学で陸域における水循環を論じる場合、細かくは土壌における雨水の浸透や小斜面における流出などの素過程が論じられる。防災、利水の立場からは降雨と流出との関連が第一の関心事として論じられる。この場合、流域内の数点の降雨計の記録を入力とし、ダム地点への流出水量などを出力として求めることとなる。入力と出力の関係は素過程から考察される物理的係数を用いて表現される場合もあるし、情報処理理論に基づき純粋に数理的に表現する場合もある。素過程を論じることは物理的支配方程式を確立することが目的となるが、これは具体的にはどのような偏微分方程式が適切であるか、その係数は土壌などの場の条件とどのような関係になっているかを調べることと同じである。一方、実用的に入力・出力の関係を求めることはシステムを集中常数系、すなわち、常微分方程式で表現する立場に立っているということもできよう。

さて、ある程度の広がりのある実際の河川流域では、降雨、地形、地質、表層土壌、地覆、土地利用などは複雑に分布している。これらは流出解析の中にできるだけ忠実に反映されなければならないはずである。従来はこのような考えは必ずしも十分に活かされてこなかった。各種のデータが使いやすい形では整備されていなかったことが、その第一の理由であろう。しかし、ここ数年の衛星データ利用の普及、1970年代後半からの国土数値情報の整備、最近のAMeDASやレーダ雨量計の整備など、流域内の各種の情報をかなり詳細に得る環境が整備されつつあり、今までとは異なった水文学への対応が可能になりつつある。

本小文はこれらデータを流域データベース化し、それを流出解析に利用する方法を考察したものである。このような立場は、前述の、水文素過程や入出力応答系に立脚する水文学と比較して、それらの中間に位置し、空間的差分ないし有限要素分割に基づく水文学であり、数学的には分布常数系の議論をするということもできる。このような、衛星データなどの流域データを多用しての流出解析へのアプローチは、融雪出水解析における残雪域の把握など直接的利点があるばかりでなく、土地利用などの流域内の変化が反映しやすいこと、流路網を解析することにより出水の遅れ時間や非線形の機構を説明しうようになるであろうこと、などの利点が期待できる。

2. 流域データベースの考え方

はじめにどの程度の時間および空間スケールで議論するかを決めておく必要があるだろう。ある流域での流出現象を対象とするという前提に立っているのも、最大空間スケールは10~100kmのオーダである。分解能は10~100mのオーダであろう。時間的には、洪水などでは10分から1時間程度までのきざみで数日間の現象を対象とする。融雪出水などでは日オーダのきざみで数ヶ月の現象を扱うこととなる。

上述のスケールを考えたとき、どのようなデータがどのように利用できるかを以下に考える。

①衛星データ その1:一般的に利用できるものとしては次の3つの地球観測衛星の4種のセンサーが挙げられる;LANDSAT-TM, LANDSAT-MSS, SPOT-HRV, MOSI-MESSR。空間分解能は10~80mであり、流域内の地覆分類などに利用するのに適している。回帰周期は16日程度であるが、好条件のデータは年に1~2回以下の頻度でしか期待できず、これらを時系列データとして利用することは難しい(数年~10数年間での流域内の土地利用変化などの解析には時系列データとして利用できる)。

②衛星データ その2:もう1つの地球観測衛星 NOAAは、前述の3衛星と異なり、毎日データが得られるので時系列データとして利用できる。

空間分解能は約1kmであるので、その利用方法

も前3つの衛星とは異なる。融雪出水解析における残雪域や日照範囲の識別が最も考えやすい利用法であろう。なお、静止気象衛星GMS(ひまわり)の情報も流出解析の入力である降雨の予報の上では重要なものであるが、流域のデータベース化ではひとまず考えないでおく。

③国土数値情報:建設省国土地理院より提供されるデータで各種のものがあるが、今回の目的に合うものは、区分:「地形」、「湖沼」、「土地分類」、「土地利用」、「河川」、「流域等」のものである。中でも、KS-110-1:標高データ(1983年更新)は不可欠であり、KS-156-1:地形分類・表層地質・土壌(1979年)も重要となろう。KS-202:土地利用1/10細分区分画データも、衛星データから解析される地覆分類とのつぎ合わせのためにあったほうがよい。

④流量データ:流出現象の出力に相当し、ダム地点、測水所などで取得される。当然、従来より利用されてきているが、(財)河川情報センターの設置で、より系統的に利用できるようになっている。

⑤気象データ:降雨データは気象庁、建設省、電力会社で取られている。これらは点情報であるので、面的データを得るためには建設省のレーダ雨量計を利用する必要がある。融雪出水の場合には、気温、日照なども入力データとなるが、これらには地上での測定に併せてNOAAデータを利用することも考えられる。

以上のデータを組み合わせて流域データをデータベース化し、水文流出解析の基礎資料とすることを考える。図-1に現在検討中および今後整備を予定している流域データベースの基本的考え方を示す。

データは定常データと時系列とに2分される。前者では、衛星データと国土数値情報を組み合わせて、流域内の特性を空間的に詳細に表現する。衛星データとしては、今回はMOSI-MESSRデータを使用する。国土数値情報は、標高データKS110-1、地質・土壌データKS156、土地利用データKS202を用意する。後者では主に融雪出水を想定して、融雪期のNOAAデータから、残雪域、日照域の時系列データをデータベース化することを考える。あわせて、他の気象データ、水文データの収集を行なう。

このようないくつかのデータを合わせて使用する場合、次のような問題点がある。

a) データ毎にメッシュサイズと地図投影法が異なる:

例えば、標高データは、経緯度座標で約250mメッシュで与えられるのに対し、NOAA-HRPTでは未補正ないしはメルカトル座標に補正したものが約1kmのメッシュで、MOSI-MESSRでは未補正ないしはUTM座標に補正したものが50mメッシュで与えられる。これらをつき合わせるには、各データ間の座標変換が必要で、これがかなりの作業となる。

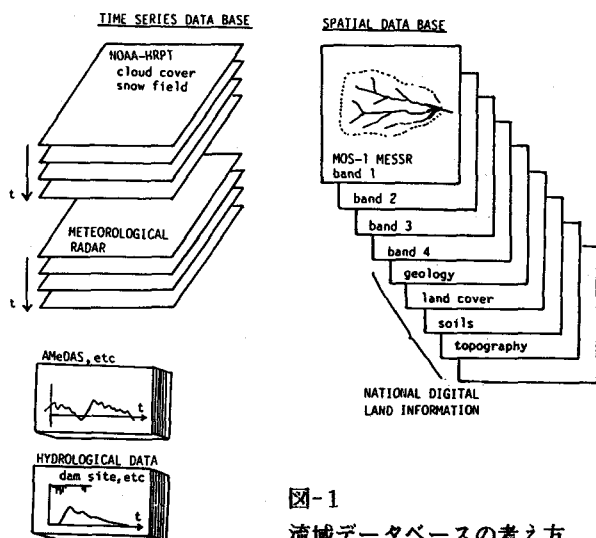


図-1
流域データベースの考え方

b) 最適のメッシュサイズがよくわからない:

データ量を小さくするためにはメッシュを大きく取ればよいが、大きくしすぎるとデータベース化した利点は失われる。かといって、mオーダまで小さく取る必要はないであろう。各流域で、ある程度使い込んでみないと結論は難しい。

c) データが多量である:

これは避けられないことである。そのため、検索法、表示法などの補助的プログラムの開発や整備にかなりの作業を要することとなる。

3. 釜房湖流域・奥只見を対象とした検討例

流域データベースの作成法について、2つの流域を選びデータハンドリング法などについて検討した。今回検討したのは地形、地覆など定常的なものと、流出解析の入力にあたる残雪域変化の時系列データである。

対象としたのは、1つは、1級河川名取川水系の右支川碓氷川にある釜房ダムの流域である。図-2の立体図に示すように、奥羽山脈の東斜面にあたり、流域南西端は蔵王の名号峰となっている。流域の西は最上川水系、北は名取川本川、南は阿武隈川水系白石川の各流域である。流域内および近辺には、山地森林、蔵王の裸地、農地、川崎町市街地などが、適度な広さで存在し、地覆分類手法の検討などを試みるには向いている。また、全域が1/50000地形図1枚分の広さに納まるのでデータ量もそれほど多くなくて取り扱いが容易である。もう1つは、阿賀野川上流只見川の滝ダムより上流の流域である。尾瀬燧ヶ岳を最高峰とし、福島、新潟、栃木3県にまたがる有数の豪雪山岳地帯である。東西約50km、南北約65kmの広がりがあり、NOAAデータのデータベース化を試みるのに適当な広さがある。以下、項目別に説明する。

(a) 標高データファイル

標高データは国土数値情報のKS110-1ファイルで与えられる。流域データベースでは、対象流域を完全に含む範囲を国土数値情報の3次メッシュの単位で切り出した。図-2に釜房湖流域の立体表示の例を示す。この場合、東西と南北に各80メッシュとなり、80×80の整数5桁の2次元データとして1つのファイルとした。切り出した範囲の経緯度は図中に明記してある。国土数値情報では陸水域には数値99991が入っているが、データベース内では、水面標高の明かな湖面では9999を水面標高に、その他の河川水面などの陸水部ではその点に隣接する周辺の8点の中で最小の標高値に書換えた。また、次項で説明する理由により一部の標高値には修正を施した。

(b) 表面流出流路ファイル

比較的急峻な地形では、地表に降った雨は地形に従って流下すると考えてよい。標高データがメッシュで与えられれば、雨の流下方向も各メッシュ点で容易に計算できる。この情報も流出解析では重要である。ここでは、(a)の標高データを用いて次のように流下方向を求めた。あるメッシュ点で周囲8点の中で最小の標高値を探し、その点のメッシュ番号をデータとしてファイル化した。この作業は計算機内で自動的に行えるはずの

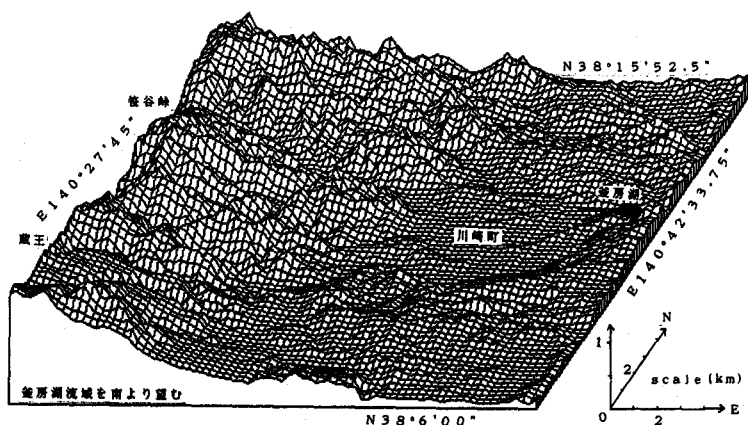


図-2 標高データの立体表示の例(釜房湖流域)

ものであるが、実際には次の注意が必要である。

- ・国土数値情報の標高データには、まれにはあるが間違いがある。また、新しく建設された貯水池などのデータが含まれていない。これらは自動的に除去、修正ができない。標高データの桁落ちや桁ずれの場合には、図-2のような表示を行うことにより、3次メッシュ単位(4×4メッシュ)の矩形の凹地または台地として判別できることがある。これらは地形図を参照して個別に書き直す必要がある。最近建設された貯水池などについての処理も同様である。

- ・標高データは約250mのメッシュデータであるので、図-3に模式的に示すように、地形によっては雨水が流れない所が生じてしまう。また、水平な場所では流下方向が決まらないことも問題となる。今回は、標高データから流下方向を判定し、凹地となるメッシュでは周囲8点の最小標高値に1を加える処理を行った。この処理を行うと、新たに別の凹地が生じる場合が多く、処理を数回繰り返して行う必要がある。それでも消えない凹地については、地形図を参照して標高を書き換えた。

釜房湖流域の例を図-4に示す。

最終的に釜房湖に流入する流路と

それ以外のものを判別することにより、図のようにメッシュサイズでみた流域界を確定することも可能になる。各流路要素の湖からの距離およびそこで勾配と土壌、これらの分布が流域全体の降雨-流出の遅れなどの基本的特性を決定しているはずである。

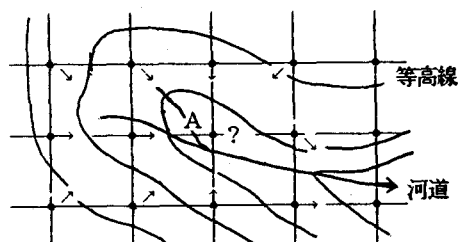
(c) MOSI-MESSRデータのデータベース化

用いたデータは、釜房湖の例では1987年6月16日宇宙開発事業団地球観測センターで受信、処理された PATH-22W, LOW-66 のCCTである。今回用いたCCTはシステム補正(Level-2)を加えたものである。画像是東経141°を中央子午線とする UTM座標の第54帯となっている。これを国土数値情報(経緯度座標)と整合させるためには両座標間の変換が必要である。座標変換には Affine変換が使われることが多いが、今回それを試したところ、良好な結果が得られなかった。それで、直線・曲線の変換に十分追随しうるように次のような変換関数を用いることにした。

$$\text{LINE} = A_1 + A_2X + A_3Y + A_4X^2 + A_5Y^2 + A_6XY + A_7\sqrt{X} + A_8\sqrt{Y} + A_9\sqrt{XY}$$

$$\text{COLUMN} = B_1 + B_2X + B_3Y + B_4X^2 + B_5Y^2 + B_6XY + B_7\sqrt{X} + B_8\sqrt{Y} + B_9\sqrt{XY}$$

ここに、(X,Y)は経緯度座標、(LINE,COLUMN)はMOSI画像での座標である。係数 $A_1 \sim A_9$ 、 $B_1 \sim B_9$ は次のようにして決定した。まず、近赤外域が水による吸収が顕著であることを利用して、band-4の CCT値のヒストグラムから水域を判別し、図示する。湖、ため池などの判別容易な地点数点の LINE,COLUMN値をこの図より、それらの経緯度を1/25,000地形図(UTM座標)から読み取った。この際、MOSIのCCT値をライン方向に3行



「地形に応じて流れるとすると
A点からは水が流れ出ない」

図-3 自動的に処理するとおかしくなる

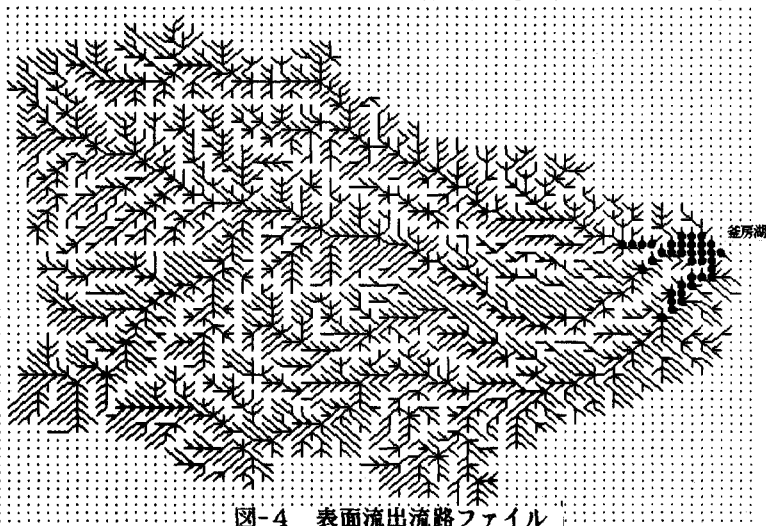


図-4 表面流出流路ファイル

に1行の割で間引き、A4版ラインプリンターに出力すると、約1/25,000の縮尺となり、地形図との対応を見る際に重宝する。これらの座標値を上式に代入し最小自乗法により係数を決定した。決定した係数を用いて上式の精度を調べたところ、通常2 pixel以内、標高の大きい地点でも3 pixel程度の誤差の範囲内で適用しうることが確かめられた。

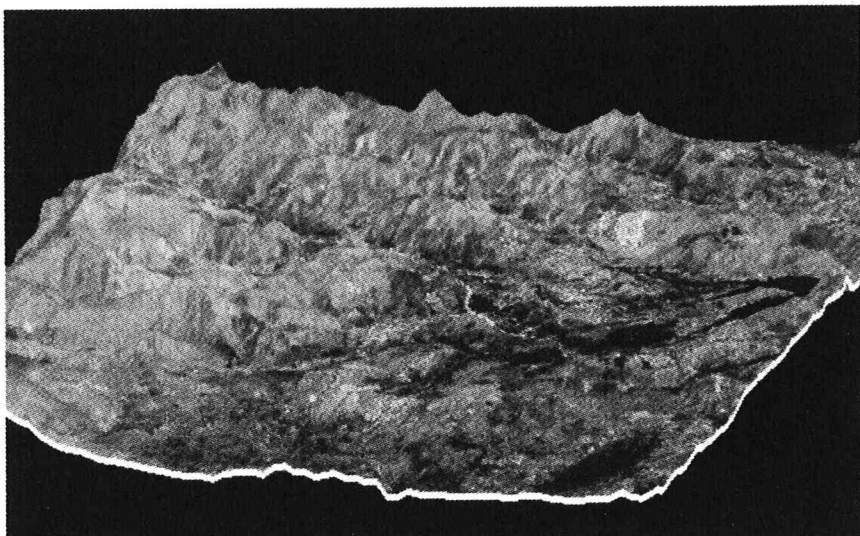


図-5 MOS1データの立体表示の例（釜房湖流域）

上述の変換を用い、国土数値情報の標高データと対応しうるとな経緯度座標のMOS1データファイルを作成した。標高データは、釜房湖周辺では東西273m、南北231mで与えられ、MOS1-MESSRは約50mメッシュでデータが与えられていることを考慮し、標高のメッシュを東西に6分割、南北に5分割したメッシュでのMOS1のCCT値をデータベース化した。すなわち、釜房湖流域ではデータベース作成対象範囲で、東西約45.5m間隔475点、南北約46.2m間隔396点からなる各バンド別ファイルができたことになる。また、これにあわせて、標高データについても内挿補間を行なって475×396のファイルを作成した。

このようにして位置合わせを行った後の、MOS1データと標高データを併せて表示した例が図-5である。これによると、農地、市街地、山林、高速道路などが、地形に応じて分布している様子が一目で把握できる。このように衛星データも標高データと合わせることで、視覚的情報が大きく増えることが理解される。

(d) 地覆分類ファイル

(c)で作成した座標変換されたMOS1-MESSRを使って、地覆分類ファイルを作成する。ここでは、次の7種に分類する；広葉樹林、針葉樹林、水田、畑、裸地、集落、水域。まず、1/25,000地形図および空中写真を使って上記分類に該当する典型的な地点をいくつか選び出し、そこでのCCTカウントを読み取る。MESSRデータは各バンド間の相関が強いので、次に、主成分分析を行なって説明変数を整理する。その結果、第1主成分と第2主成分とで累積寄与率98.7%に達することが確かめられた。これらを参照しながら各地点の4バンドのCCT値から地覆分類を行なった。分類結果はMESSRデータと同じく475×396のファイルとなる。結果の例を図-6に示す。針葉樹林と日陰の広葉樹林とが適切に分類されていない地点が見られるなど多少

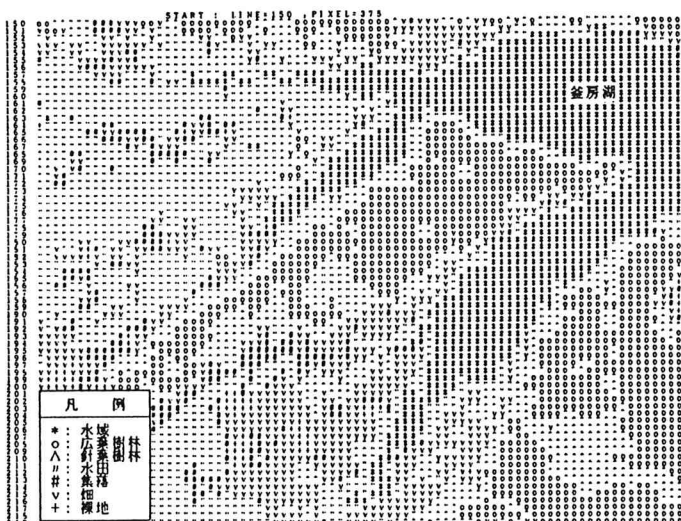


図-6 地覆分類ファイルの一部（釜房湖西岸付近）

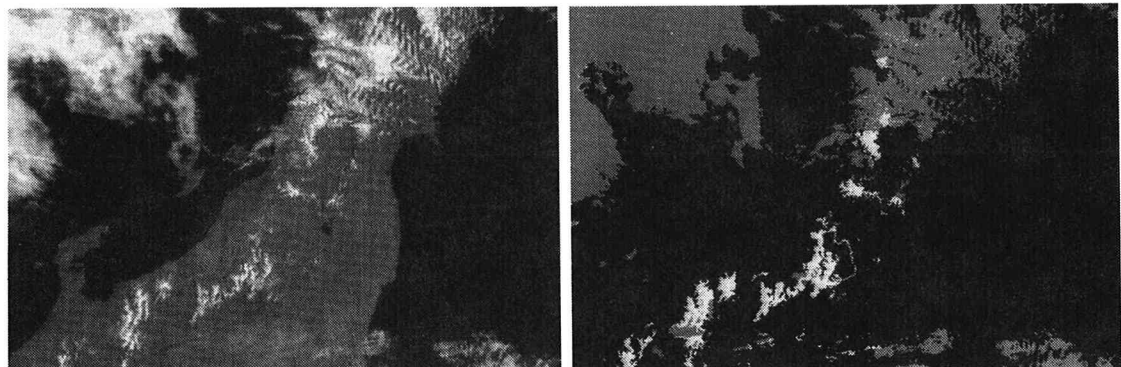


図-7 (a) NOAA-AVHRR Ch 2

(b) 残雪域(滝ダム流域)

改良の余地は残されているが、水域、森林、農地、裸地、集落などの水文流出で重要になる項目については確実に分類されている。

(e) 地形、地質、土壌ファイル

地形、表層地質、土壌の情報は、国土数値情報のKS-156-1より得られる。各データは3次メッシュ(約1 km間隔)で与えられているので、釜房湖流域ではそれぞれ80×80のファイルとなる。標高データや地覆分類と併用するには、メッシュサイズの違いによる不都合をなんらかの方法で解決する工夫をしなければならない。

(f) 残雪域ファイル

雪を衛星データからどのように判別するかは現在も種々検討されている。特に、初夏、樹冠に落葉樹の芽が出始めた後の地上の雪や、針葉樹林中の地上の雪の判別には検討すべき事項が多い。ここでは、手始めとして最も簡便な方法を用いることとする。

図-7(a)に1989年4月26日のNOAA-AVHRR channel-2(近赤外)の画像を示す。一見してわかるように奥只見に積雪域が広がっている。Channel-1(可視)と channel-3,4(熱赤外)とを組み合わせると、雲と積雪とが判別できる。その結果に滝ダムより上流の只見川流域界を併せて表示したものが図-7(b)である。図中、灰色の部分が雲で、白い部分が積雪域である。1989年の融雪期を通じてでは、このような画像が7シーン得られた。対象流域の残雪域面積の変化はこれらのシーンより簡単に計数できる。

4. おわりに

流域をデータベース化して水文流出解析に利用するという考え方は、流域の面積が大きくなればなるほどその利点も増すものと思われる。今回は比較的小さな流域と残雪の顕著な流域を対象としてデータハンドリング法の検討を行った。今後さらにデータをできるだけ自動的に処理しうようなアルゴリズムの開発・改良を進めなければならない。また、水文・気象データの蓄積も気長に続ける必要がある。また、流域データベースの作成には一応の目途がついたので、さらにこれらを組み込んだ流出解析モデルについて検討を進める予定である。

謝辞:本研究で用いているNOAAデータは、東北大学と東北電力との共同研究の一環として東北大学理学部で受信したものである。関係者各位に謝意を表します。また、本研究は科研重点領域研究「衛星による地球環境の解明」の一部として行われたものである。データ処理に際しては東北大学理学部川村宏助教授、工学部研究生Kittipong Jirayoot、4年生風間聡両君の助力を得た。併せて謝意を表します。

参考文献

- 1) 陸旻皎・小池俊雄・早川典生: レーダ雨量情報に対応する分布型流出モデルの検討, 第33回水理講演会論文集, 91-96, 1989.