

# 入力データの時空間分解能が流出解析に与える影響の検証

地球環境研究室 館野 裕孝  
指導教官 陸 旻皎

## 1 はじめに

流出解析において、解析の基礎となるものは気象データである。気象データは、地形条件等によりその観測点の空間分布状況が均一ではなく、得られるデータの時間分解能は1日雨量や月平均雨量等、様々である。分布型融雪流出モデルを用いて流出解析を行う際、このような入力データの時空間分解能の違いによるモデルへの影響は明確にされておらず、精度の高い解析を行うためにも、時空間分解能による影響を考慮したモデルを構築する必要がある。そこで、本研究では、入力データの時空間分解能が分布型融雪流出モデルへ与える影響について検証を行い、どのような影響を受けるのかを明らかにする。

## 2 使用データの概要

本研究では、北アメリカを対象とした次のような基礎データを用いた。

### <流量データ>

U.S.ARMAYより取得した実測流量データは、計算流量と比較するため、メンフィスで観測された日単位と月単位のデータを使用した。

### <雨量・気温データ・ステーション座標データ>

降雨、気温およびステーション座標データは、Precipitationデータセットより取得した。このデータセットは、北アメリカの1036ステーションを対象とした陸域に関する各種データ（降雨量・最高気温・最低気温・ステーション座標位置など）を、年、月、日単位で収納している。データ期間は1948年から1988年の41年間で、このうち、本研究で使用したものは、データ期間1985年から1988年の4年間の日単位（1461日）データである。

図1はU.S.ARMAY Precipitationデータセットより使用したデータを観測したステーションの位置を示したものである。

: Precipitation : U.S.ARMAY

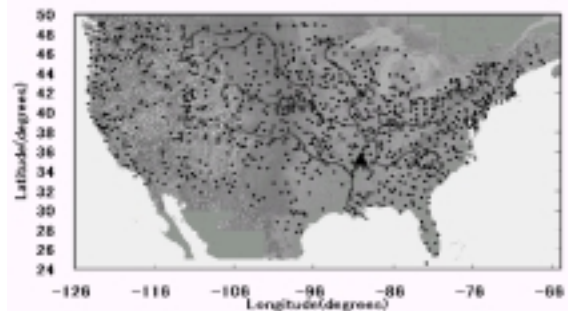


図1 ステーション位置図

### <蒸発能データ>

蒸発能データは、ISLSCPデータセットより必要なデータを取得し、Priestley-Taylor法を用いて蒸発能を算出することで求める。

ISLSCPは、同名のプロジェクトにより作成された、全球を対象に大気・陸域・海洋に関する各種データ（例えば、植生・気温・土地被覆・降水・海水温度・短波および長波の放射収支量など）を収納しているデータセットであり、本研究ではこの中から放射収支量データを使用した。いずれのデータも、空間分解能 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ のグリッドデータであり、データ期間は月単位で1987年から1988年の2年間である。ISLSCPのデータ期間に対し、本研究では1985年から1988年の4年間のデータを必要とするため、1985年、1986年のデータに関しては蒸発能の変動が小さいという点から、1985年は1987年のデータを、1986年は1988年のデータとして使用し、蒸発能データを作成した。

## 3 分布型融雪流出モデルの概要

本研究において、時空間分解能の影響を確かめるために使用した分布型融雪流出モデルの概要は、次のようなものである。

このモデルは、陸らの分布型流出モデルの概念に基づき陸域を矩形のグリッドに分割して扱うもので、その計算過程は以下の5つに大別できる。

### (1) 擬河道網 ( 全球河道網 ) の作成

擬河道網とは、陸域の各グリッドにおける流出の流域出口までの集中経路を示すもので、流出場の地形を表す重要な情報である。

本研究で使用したミシシッピ川の擬河道網は、空間分解能 1 度となっている。

### (2) 降雪量・融雪量の算出

モデルでは、降雪量については定数モデル、融雪量については degree-day 法 ( 気温日数法 ) を導入する事で、その影響を考慮している。

#### < 降雪量補正モデル >

降雨データには積雪情報が含まれていないため、モデルでは気温がある値 ( 本研究では 0 ) を下回る場合に、当該グリッドの降水量を積雪として取り扱い、 $P(h)=A \cdot P(h_0)$  の定数モデルに適用する事で降雪量補正を行う。 $h_0$ 、 $h$  : 降水量観測地点の標高と計算地点の標高、 $P(h_0)$ 、 $P(h)$  :  $h_0$ 、 $h$  における降雪量、 $A$  : 雨量計補正係数 (雨量計の捕捉率の逆数) である。

#### < 融雪モデル >

融雪過程は、物理的には積雪層にどの様に熱が出入りしているかが問題となる熱力学過程である。したがって、積雪にかかる熱エネルギーの収支から融雪量を求める事が出来るが、実際の流域では熱エネルギー入力に関わる様々な気象因子を、全地域にわたって正確に推定する事は不可能である。そこで、モデルでは、融雪に関わる気象因子を気温のみとする、簡便な degree-day 法を導入している。あわせて降水による融雪も考慮し、総融雪量は  $M_{cal} = M_t + M_p$  により表現している。 $M_{cal}$  : 総融雪量 (mm)、 $M_t$  : degree-day 法による融雪量 (mm)、 $M_p$  : 降雨による融雪量 (mm) である。

### (3) 流出量の算出

流出量を計算する水文モデルとして、分布型融雪流出モデルでは、中国で広く使用されている新安江モデルの概念を用いて、各グリッドからの流出量を算出する。

新安江モデルでは、超蓄流出理論に基づき、各グ

リッドの流出量を直接流出と基底流出に分離して行う 2 成分モデルを用いる。

超蓄流出理論では、全ての点においてその圃場用水量までの貯水能力に達するまで、流出が発生しない。また、到達してからは最終浸透能で浸透し、浸透できない部分が地表面流出となる。

### (4) 河道追跡計算

大陸スケールの大河川を扱う場合には、河道での流れをモデル化し、貯留効果や遅れの影響を考慮する必要があるため、グリッドからの流出量について河道ごとに Muskingum-Cunge 法により計算する。

### (5) ハイドログラフ

河道網から算出した最適追跡順番に従って研究対象地点までの合流を計算し、ハイドログラフを得る。

次の図 2 に、分布型融雪流出モデルの概要図を示す。

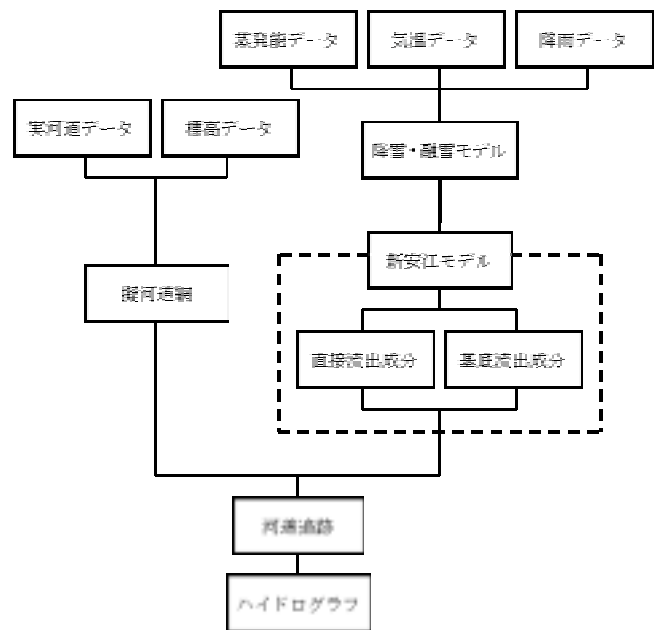


図 2 分布型流出モデルの概要図

## 4 グリッドデータ ( 入力データ ) の作成

ステーションにおいて観測された降水量そのものが示す分布状況、そして、一地点からある空間にお

ける降水分布の変化に注目するならば、その基礎となる降水の地域的分布の変動を考慮しなければならない。解析の対象となる流域の面積と時間の様々な組合せについて、どれだけの水量、流出量がどの程度発生するかという事が、流域形態の変化や水需要に対し大きな影響を与える。このような予測を水文解析により正確に行うためには、対象とする流域について降水の空間的・時間的分布を基礎となる入力データとして可能な限り正確に表現し、解析することが必要である。しかし、実際に得られるデータは1日雨量や1ヶ月雨量等その時間分解能は様々であり、また、ステーションの空間分布は、実流域では観測点の分布状況が一様ではなく、山岳地帯や砂漠地帯など、地形条件によっては1度グリッド内に観測所の全く無い地域も存在する

流出解析において、既知データ間に推定値を設定する補間法によりグリッド型の入力データを作成した場合、対象流域に観測所の無い地点を含む流域であっても流域全体にデータを振り分けることができ、均一なデータ分布の基で解析を行うことが可能となる。そこで、本研究では最近隣法・線形補間法を用いる事でグリッドデータを作成し、補間する点は補間グリッドの中心点にデータを設定した。

グリッドデータを作成する際の2つの補間方法例を次に示す。

<最近隣法>

図3のような4つのグリッドA,B,C,Dと、その周辺に3つのステーションa,b,cがある場合、これら3つのステーションのうち、グリッドAのデータとなるのは、グリッドAの中心に最も近いステーションであるステーションaのデータである。

<線形補間法>

図4のように、3つのステーションa,b,cがあり、この3点を結んだ三角形の面積を求める方程式は、 $Z = X + Y$  で表される。ここで、定数  $X, Y$  は、ステーションa,b,cの座標値より求められ、三角形内にあるグリッド中心点の  $X_p, Y_p$  座標値をこの方程式に代入する事で、 $Z_p = X_p + Y_p$  となり、そのグリッドの  $Z_p$  (補間後のデータ) が得られる。

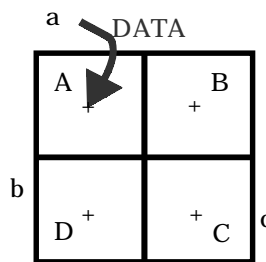


図3 最近隣法例

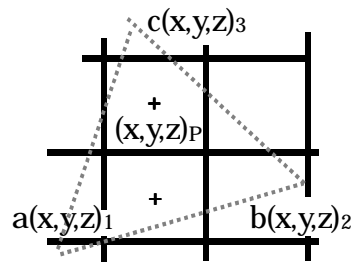


図4 線形補間法例

本研究では、以上のような補間方法により、時間分解能,空間分解能,補間方法の違いにより、13パターンのグリッド雨量データを作成した。そして、実際に分布型融雪流出モデルへ入力し流出解析を行うことによって、入力データの時空間分解能によるモデルへの影響を検証した。グリッドデータの作成方法は次のようなものである。

4.1 時間分解能1日・空間分解能1度

降雨・気温データを基に、時間分解能1日・空間分解能1度で最近隣法・線形補間法により補間し、作成した。

4.2 時間分解能2~5,10,15,30日

・空間分解能1度

前節4.1で作成した時間分解能1日・空間分解能1度(1日雨量)のデータを基に、時間分解能2~5,10,15,30日のデータを作成する。これらのデータは、1日雨量を平均して作成した。例えば2日雨量の場合、1日雨量データの1日目と2日目の平均を1日目と2日目のデータとし、同様に3日目と4日目のデータは3日目と4日目のデータの平均値となる。

4.3 時間分解能1日

・空間分解能1度(サブグリッド5分)

このデータの作成方法は、基本的に4.1節と同様の方法によるのだが、このグリッドデータは、データ補間時に空間分解能1度で補間するのではなく、1度×1度グリッドを12分割した5分×5分のサブ

グリッドデータを補間した。そして、既存の擬河道網は空間分解能 1 度に対応しており、流出量の擬河道網への入力は 1 度であるため、5 分×5 分のサブグリッドデータを最終的に 1 度に平均し、作成した。

#### 4.4 時間分解能 1 日・空間分解能 5 分

前節 4.3 で作成したグリッドデータは、サブグリッドの空間分布を補間時に与えてはいるのだが、擬河道網の空間分解能に対応させるためサブグリッドを 1 度×1 度に平均している。このため、空間分解能 5 分のデータをモデルへ入力し、各グリッドの流出量を 5 分で算出するためには、モデル自体の改良が必要となる。また、本研究で流域全体をカバーする北緯 24 度から 50 度、西経 65 度から 126 度の範囲において、空間分解能 5 分でグリッドデータを作成した場合、空間分解能 1 度のデータ容量が 16MB 弱であるのに対し、2GB 以上の容量を持つデータとなってしまう。コンピュータ処理を行うにあたり、2GB 以上のデータを扱うためにはデータを扱うための処理が必要となるため、モデル計算において実際に流出計算される計算対象グリッドのみで空間分解能 5 分で補間し、時間分解能 1 日のグリッドデータを作成した。

表 1 作成グリッドデータ

データパターン	補間方法	時間分解能	空間分解能	作成データ
1	最近隣法	1 日	1 度	降雨
	"	"	"	気温
	"	1 ヶ月	"	蒸発能
2	線形補間法	1 日	1 度	降雨
3	最近隣法	2 日	1 度	降雨
4	"	3 日	"	"
5	"	4 日	"	"
6	"	5 日	"	"
7	"	10 日	"	"
8	"	15 日	"	"
9	"	30 日	"	"
10	最近隣法	1 日	サブグリッド 5 分 (平均 1 度)	降雨
11	線形補間法	"	"	"
12	最近隣法	1 日	5 分	降雨
	"	"	"	気温
13	線形補間法	1 日	5 分	降雨
	"	"	"	気温

作成したグリッドデータのデータ期間は 1985 年から 1988 年の 4 年間 (1461 日) である。

## 5 結果と考察

分布型融雪流出モデルへ入力するグリッドデータは、降雨・気温・蒸発能である。データパターン 1~11 の雨量データを用いて計算する際に入力する気温・蒸発能データは、データパターン 1 の気温・蒸発能データである。データパターン 12,13 の雨量データで計算する際は、データパターン 12 の気温・蒸発能データを用いる。

### 検証 1：補間方法による影響

本モデルに対して、入力データ作成時の補間方法による影響を検証するため、データパターン 1,2,10,11 のグリッドデータを入力し、流出解析を行った。

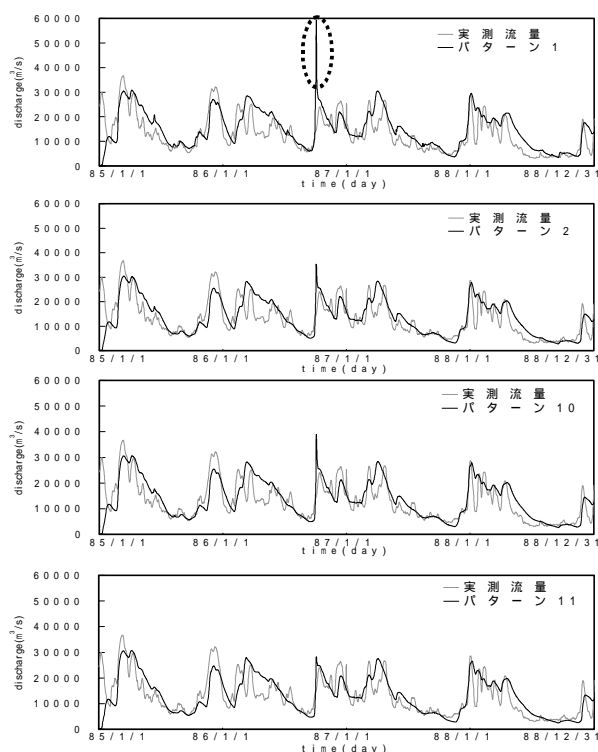


図 5 パターン 1,2,10,11 によるハイドログラフ

図 5 の ..... 部分の流量が過大な値となっているが、これは、この時期に大きい雨量を持つステーションが一部あり、最近隣法でのステーションデータが設定される境界内において、そのデータを補

間する際に、最近隣法におけるステーションデータ設定境界内で、現実にはそれほど高い雨量ではなかったグリッドが含まれていたことにより、実際には雨量の少ないグリッドへその高い雨量が設定されたことが原因であると考えられる。

次の図 6 は、実測流量と計算値とを相関係数により比較した結果である。相関係数は、二つの標本例、 $\{x_i | i=1, \dots, N\}$  および、 $\{y_i | i=1, \dots, N\}$  がある場合に、これら標本例の類似度を測る統計量である。

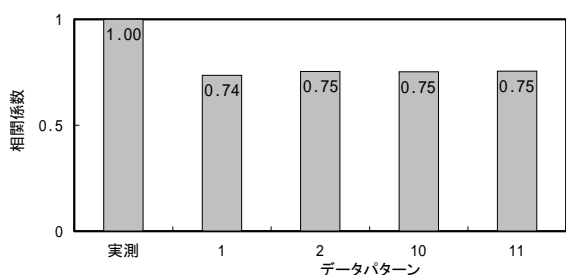


図 6 実測日流量と計算結果の相関係数

- ・最近隣法よりも線形補間法を用いた方が、実測値の再現性が高い。
- ・線形補間法または、サブグリッドへデータ補間した後平均して1度とした場合、その結果に大きな変化はない。

### 検証 2：時間分解能による影響

モデルに対する時間分解能の影響を検証するため、データパターン 1 を基に時間分解能を粗くした、データパターン 3~9 のグリッドデータを入力し、流出解析を行った。

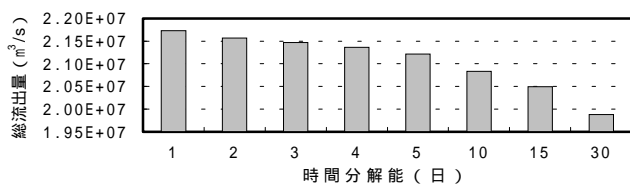


図 7 4年間の総流量

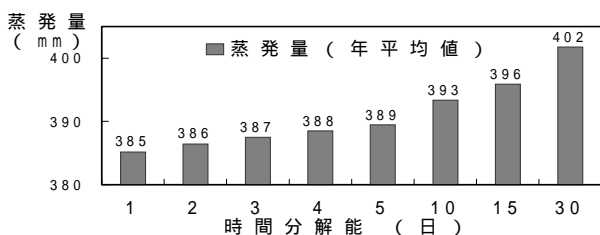


図 8 平均蒸発量

- ・入力データの時間分解能が粗くなるほど、モデルの蒸発量計算において蒸発割合が増し、その影響で流量が減少する。

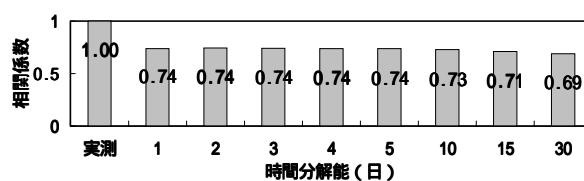


図 9 実測日流量と計算結果の相関係数

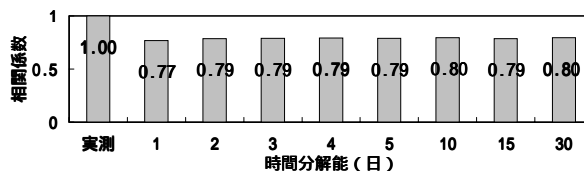


図 10 実測月流量と計算結果の相関係数

- ・実測日流量に対する相関係数は、時間分解能が粗くなるほど低くなっている。
- ・実測日、月流量を比較すると、時間分解能 30 日データによる流量の相関係数の増加割合が最も高い。これは、モデルではダム等の人口貯留施設の影響は考慮されていないのに対し、実測月流量では小規模な貯留施設等の影響が平滑化されているためであると考えられる。

### 検証 3：時間分解能による影響

検証 1 では、1 度×1 度グリッドを 12 分割した 5 分×5 分のサブグリッドへデータを補間し、1 度に平均したデータにより流出解析を行った。これに対し、流出モデルに対する空間分解能の影響を検証するため、空間分解能が 5 分となっているデータパターン 12,13 のグリッドデータを入力して計算を行い、各 5 分グリッドでの流出量を算出する。そして、流出量を 5 分から 1 度に平均して追跡計算をした場合の解析結果を以下に示す。

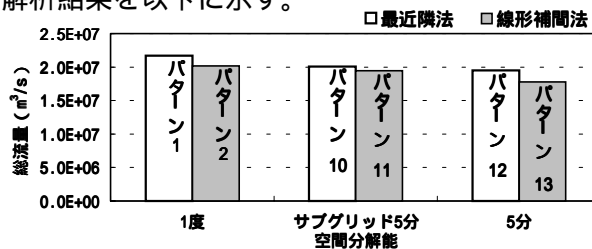


図 11 4年間の総流量

・各空間分解能において最近隣法で補間したデータによる流量に比べ、線形補間法で補間したデータによる流量の方が低くなるのがわかる。また、空間分解能が高くなるほどその流量は低くなり、流出量を5分で算出した場合も同様に低くなる。

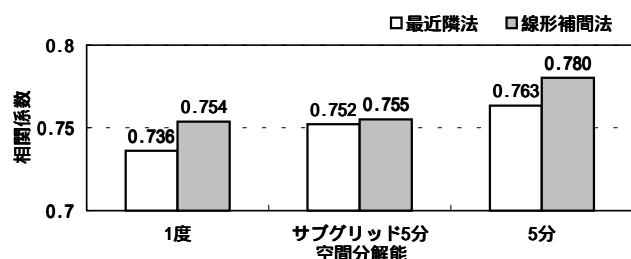


図 12 実測日流量と計算結果の相関係数

・実測流量に対し、各空間分解能において、線形補間法を用いて作成したグリッドデータによる解析結果の相関係数が高い。また、空間分解能が高くなるほどその相関係数は高くなるといえる。

・サブグリッド5分で補間し、平均して1度とする場合の補間方法について、最近隣法、線形補間法の補間方法による解析結果への影響は少ないことがわかる。

## 6 結論

本研究で得られた知見を以下に示す。

### 検証1 補間方法による影響

・最近隣法を用いてグリッドデータを作成した場合、隣り合うステーションの間隔が離れているほどステーションデータが設定される境界の範囲が広がり、設定される雨量分布に偏りが生じる。このため、集中豪雨などを含むようなデータを用いて解析する場合、グリッドに対して実際よりも大きい雨量の設定範囲が広がるため、流量が過大に出力されてしまう。洪水解析ともなれば、過大評価してしまう可能性がさらに高くなるといえる。ステーションに偏りがあり、また、解析期間に大きい雨量を含むような解析に対し、最近隣法を用いるべきではない。

・降雨データの空間分布を考慮する場合、最近隣法では境界内の設定されるデータが全て同一である

のに対し、線形補間法では境界内で個々の関数により補間されるため、データに重み付けがされる。

・空間分解能1度の解析に対しデータ補間を行なう場合には、線形補間法を用いるか、もしくは最近隣法を用いるのであれば、サブグリッドに対しデータ補間をすることが必要である。

### 検証2 時間分解能による影響

・雨量データの時間分解能が粗くなるほど、雨量は平滑化され降雨継続時間が長くなる。これにより、モデルの蒸発量計算において時間分解能が粗くなるほど蒸発割合が増し、結果流量は低くなる。

### 検証3 空間分解能による影響

・空間分解能5分のデータを基に、流出量算出を空間分解能5分で算出する場合、1日1グリッド当たりの流出量計算回数が既存の方法では1回であるのに対して144回となるため、計算時間は約10倍かかる。

・空間分解能1度、サブグリッド5分で補間した後、平均して1度、空間分解能5分の各入力データのうち、空間分解能5分による解析結果が最も実測流量との相関係数が高い。これは、空間分解能1度で流出量を算出した場合、1度×1度の各地点からの流出は全く等しい状態にあるのに対し、5分×5分で流出量を算出した場合では1度×1度内の144地点で個々の流出を算出することができ、各グリッドでの非線形的な現象に対して、流出現象を1度よりさらに細かく表現しているためである。

### 今後の課題

空間分解能5分による解析結果は最も実測流量との相関係数が高いことから、追跡計算に対しても5分で行なうことが、より精度の高い解析につながる。このためには、今後、擬河道網を空間分解能5分に対応したものを構築する必要がある。