

# インドネシアKahayan川の水位変動要因を 踏まえた水位予測に関する研究

## RESEARCH ON WATER LEVEL FORECASTING BASED ON FACTORS AFFECTING WATER LEVEL VARIATION FOR THE KAHAYAN RIVER IN INDONESIA

工藤俊<sup>1</sup>・中津川誠<sup>2</sup>

Shun KUDO and Makoto NAKATSUGAWA

<sup>1</sup>学生会員 室蘭工業大学大学院 工学研究科 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)

<sup>2</sup>正会員 博士(工学) 室蘭工業大学大学院 工学研究科 准教授 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)

This study aims to clarify the factors affecting water level variations in the Kahayan River in Indonesia, and aims to forecast the water level of that river. In recent years, peat land has been drying as a result of agricultural development, and such drying has increased the frequency of large-scale wildfires.

To analyze the factors affecting water level variation, we examined the relationships between global weather phenomena, rainfall in the study area and water levels of the river. It was found that rainfall was scant and the water level was low during El Niño events. In addition, it was found to be possible to forecast water level fluctuations with a one-month lead time by using the Nearest-Neighbor Method. The results promise to be useful for controlling the hydrological conditions in peat land restoration in the future.

**Key Words :** Kahayan River, peat fires, El Niño event, water level forecasting, Nearest-Neighbor Method

### 1. はじめに

インドネシアの熱帯泥炭には多量の炭素が蓄積されているが、近年の農地開発の影響で地下水位が低下することなどが原因とみられる泥炭地の乾燥化が起き、大規模な火災を引き起こしている。それにより中部カリマンタンだけでも毎年、日本の年間排出量に相当するほどの膨大な量の二酸化炭素が放出されており<sup>1)</sup>、国際的な課題となっている。

このため、泥炭火災を防ぐために地下水位を正常な状態にコントロールし泥炭地の乾燥を抑制することが求められており、そのためには現地の水文環境を理解し、さらにその変動を把握した上で対策を講じる必要がある。

これまで、中部カリマンタンのKahayan川流域と、隣接するSebangau川流域を対象に地下水位変動と泥炭火災の関係を分析した佐藤ら<sup>2)</sup>の研究や早坂ら<sup>3)</sup>の研究、カリマンタンの泥炭地における蒸発散量と流出量の推定を行った三宅ら<sup>4)</sup>の研究など、泥炭地の水文環境に着目した研究事例があるが、地下水や表流水の変動要因そのものを詳細に分析した研究は少ない。

そこで本研究では、Kahayan川流域を対象に地下水位

との関係が深い河川水位の変動要因について、その中でも泥炭火災の危険が特に高い乾季に着目した分析を行った。具体的には、まず初めにグローバルな気象現象をもとに乾季の流域雨量を左右する要因の分析を行い、その上で気象現象と河川水位の比較・検証を特に低水時に着目して行った。また、変動要因が解明された上でさらに、低水時を予測できれば水位低下を事前に把握でき、水位低下を防ぐための水路での堰上げなどといった流域管理に役立てられると考え、水位予測を試みた。なお、Kahayan川の水位予測を試みる上では、水文データの少ない流域においても、確保しうる水文データの現在と過去のデータがあれば予測が行えるNearest-Neighbor法(以下、NNM)を採用し、月単位での水位予測を試みた。

### 2. Kahayan川の概要

Kahayan川はインドネシア・中部カリマンタンに位置し、流域面積については中央カリマンタン州政府(Dinas PU Propinsi Kalimantan Tengah)によると、19,917km<sup>2</sup>とされている。また下流では平坦な土地が広がり、内陸部まで潮汐の影響を大きく受けることが知ら

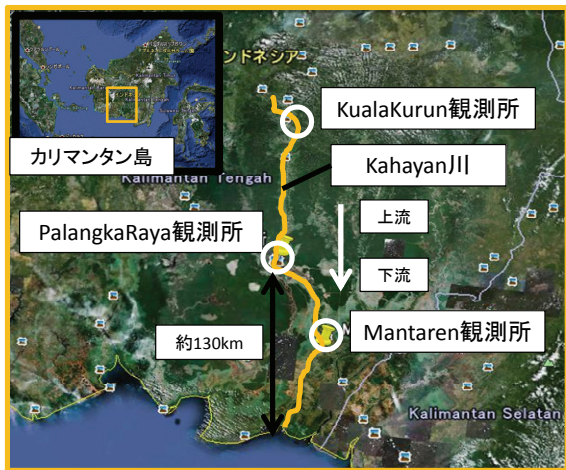


図-1 Kahayan川周辺図

れており、上流になるにつれて川の勾配が大きくなるという特徴を有する。本研究では周囲に豊かな泥炭地が広がるPalangka Raya観測所（図-1参照）で観測された水位を用いて水位の変動要因分析と水位予測を行う。

### 3. 雨量・水位の変動要因の分析

インドネシアの雨量を左右するグローバルな気象現象として、El Niño event・La Niña event・Indian Ocean Dipole mode（以下、IOD）を考え、それが具体的にKahayan川流域の雨量、水位にどのように影響しているかを検証する。それぞれの現象は海域の東風の強さによる海面温度の東西のコントラストの強さによるものである。概要を表-1に示す。

#### (1) 乾季積算雨量と気象現象・大規模泥炭火災の関係

水位の変動要因の分析に先立ち、より気象現象と直接的な関係があると考えられるKahayan川流域平均雨量を利用した分析を行う。使用データについては、図-1に示したPalangka Raya観測所、Kuala Kurun観測所、Mantaren観測所の3つの観測所の1990年～2009年において観測された日雨量を用いて月雨量を算出し使用した。この際、欠測があるため1ヶ月間の日数の8割以上の日数で観測された月の日平均雨量を算出し、それに1ヶ月の日数を乗じることにより月雨量を算出している。観測日数が8割に満たない月は欠測とした。その上で、3つの観測所における月雨量を算術平均したものを流域平均雨量とした。

分析には、1章において述べた通り乾季に着目するために乾季積算雨量を用いる。ここで、国際機関日本アセスンセンター<sup>5)</sup>によるとカリマンタンの乾季は7月～9月であるため、乾季積算雨量とは7月～9月の3ヶ月積算雨量のことを表す。乾季積算雨量とそれぞれの気象現象・大規模泥炭火災の発生期間<sup>2),3),6),7),8),9)</sup>を比較・分析し、分析結果を図-2に示した。なお、7月～9月の3ヶ月間で1ヶ月間でも欠測のあるものは、乾季積算雨量も欠測として

表-1 気象現象の概要

現象	海域	東風	インドネシア付近の雨量
El Niño event	太平洋	弱まる	少雨
La Niña event	太平洋	強まる	多雨
IOD	インド洋	強まる	少雨

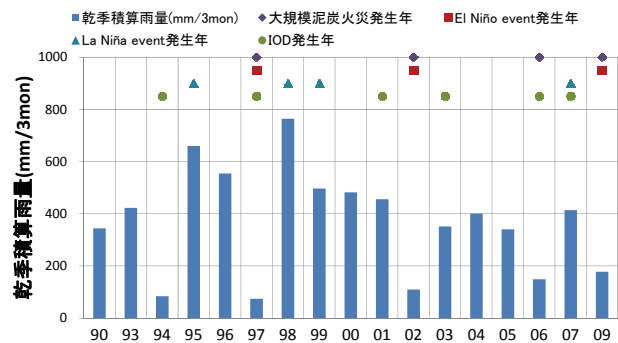


図-2 乾季積算雨量の分析（91年、92年、08年は欠測）

いる。また、乾季積算雨量と年積算雨量の関係については、図-2に示した17年間の年平均の乾季積算雨量が370(mm/3mon)、年積算雨量が3054(mm/year)（ただし、93年は1月、2月が欠測であったため平均値算出時からは除外した）となっている。

図-2に着目すると、El Niño eventが発生している97年、02年、09年にはいずれの年も少雨となっており、このことからEl Niño eventとKahayan川流域の乾季積算雨量には密接な関係にあることが十分に読み取れる。また、IODが発生している年について、94年、97年、06年についてみると少雨となっているが、01年、03年、07年についてはIODが発生しているにもかかわらず、少雨ではないことがわかる。このことについて考察すると、07年についてはLa Niña eventが同時に発生しており、このことが少雨とならなかった原因であると考えられる。しかしながら、01年、03年についてはLa Niña eventが発生しておらず、少雨とならない原因はさらに精査する必要がある。

なお、大規模泥炭火災が発生した97年、02年、06年、09年に着目してもいずれの年も少雨であることがわかる。これらの年の気象現象と比較すると02年、09年はEl Niño eventが発生し、06年はIODが発生し、97年は両者が発生していることがわかる。このことから、El Niño eventとIODの両者を考慮することの必要性が示唆されている。

次に、El Niño eventとIODが同時に起き、大規模泥炭火災が発生した97年の乾季積算雨量図と90年～09年の年平均の乾季積算雨量図を確認する。雨量データは世界気象機関らのプロジェクトである全球降水気候計画(Global Precipitation Climatology Project)（以下、GPCP）より、0.5°グリッドデータ<sup>10)</sup>を使用し、7月～9月の3ヶ月間の乾季積算雨量図を図-3に示した。

図-3の両者を比較すると、丸で囲われたKahayan川流域付近での雨量の差が明確であり、気象現象による乾季の少雨が流域全体にわたっていることがわかる。

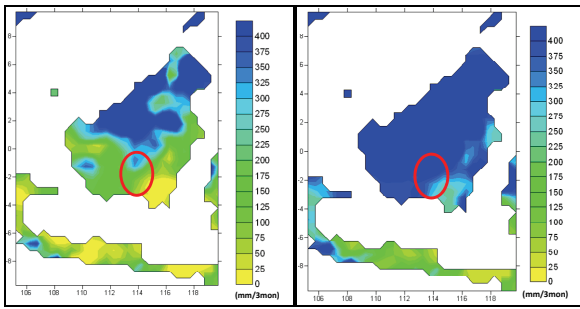


図-3 乾季積算雨量図（左：97年，右：90年～09年平均）

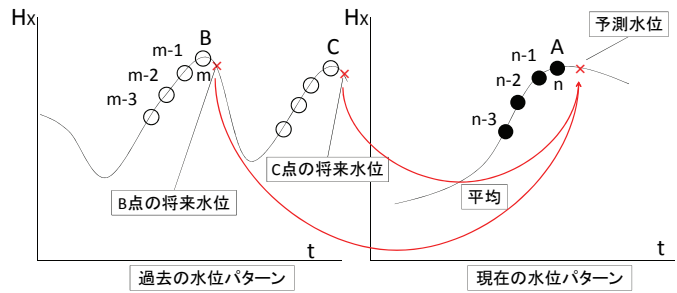


図-5 NNMイメージ図

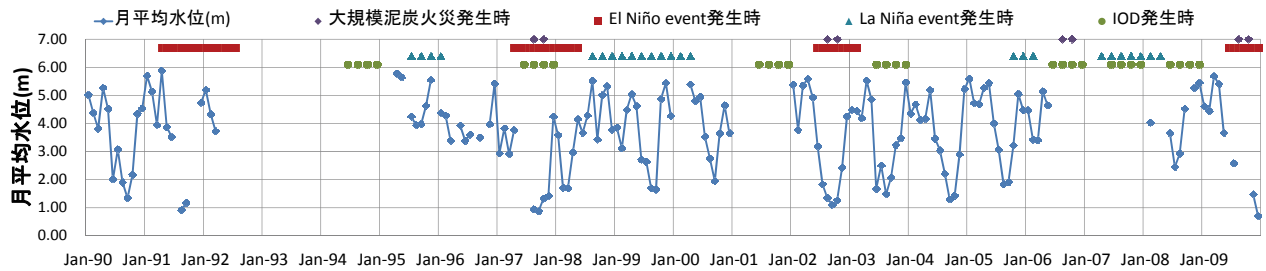


図-4 水位の分析（水位が示されていない箇所は欠測）

## (2) 水位と気象現象・大規模泥炭火災の関係

PalangkaRaya観測所において観測された水位について分析を行う。使用するデータは1990年～2009年に観測された日水位データを月平均したものを使用する。この際、1ヶ月間の日数の8割以上の日数で観測された月のみの平均を算出し、観測日数が8割に満たない月は欠測とした。分析結果を図-4に示す。ここで、水位は統一的な基準面からの高さではなく、観測所ごとの基準面からの高さである。なお、それぞれのイベント発生月としては、El Niño event, La Niña eventについては気象庁<sup>6)</sup>の定義を使用し、IODについては一般的に5～6月に発生し10月に最盛期を迎え、12月には減衰する<sup>9)</sup>ことから、発生したとされる年の5月～12月とした。大規模泥炭火災については、火災が生じやすいのは乾季の末期の8月～10月<sup>2)</sup>であることから、発生年の8月～10月とした。

図-4に着目すると、水位が1m前後まで低下している91年、97年、02年、09年ではいずれもEl Niño eventが発生しており、乾季積算雨量を用いた分析と同様な結果が得られることがわかる。さらに、97年、02年、09年については大規模泥炭火災が発生しており、さらなる検証が必要ではあるが、水位1m前後というのが大規模泥炭火災発生時の指標として使える可能性が示唆されている。また、03年、08年においてはIODが発生しているにも関わらず水位が低いとはいえない。08年については、La Niña eventの末期であるために水位が低下しなかったことが考えられ、03年については乾季積算雨量を用いた分析と同様に、さらに精査していく必要があるといえる。

以上より、El Niño eventについては雨量、水位との強い相関が示されたといえる。IODについては、発生期間中の水位の観測が乏しく水位との十分な関係は得られていないが、水位と深い関係にある雨量との関係は得られ

ており水位の変動要因という意味合いではIODも一つの要因となっていることが検証されたといえる。

## 4. 水位予測

前章までで水位の変動要因が検証されたが本章ではこれを踏まえて、特にEl Niño eventによって左右される低水時を予測することを試みる。低水時を事前に予測することで、河川・水路の堰上げを行い泥炭地の乾燥を事前に抑制することなどに役立てたいが、現地での実用性を考えると日単位での堰のオペレーションは難しく、月単位での予測の方が現地での堰の管理に役立つと考え、本研究では月単位での予測を試みた。また、水位予測をする際は雨量～流量～水位といった変換過程をたどる方法が一般的であるが、Kahayan川では定期的な流量観測が行われておらず流量を介した予測が困難であるため、本研究では水文データが乏しい流域においても予測が行えるNNMを適用した。なお、予測対象は周囲に泥炭地や農地、市街地が広がるPalangkaRaya観測所の水位とする。

### (1) NNMの概要

NNMとは一種のパターンマッチングのような手法であり、現在の水位パターンと類似した過去の水位パターンから、将来の水位を予測するものである。

具体的には図-5のように考え、X地点のA時の将来の水位を予測することを考えると、まず、A時から遡った連続する水位パターン（黒丸で示す）と類似な水位パターンを過去の水位パターンから探す。B時から遡った連続水位（白丸で示す）が最も類似なパターンで、C時から遡った連続水位（同様に白丸で示す）が2番目に類

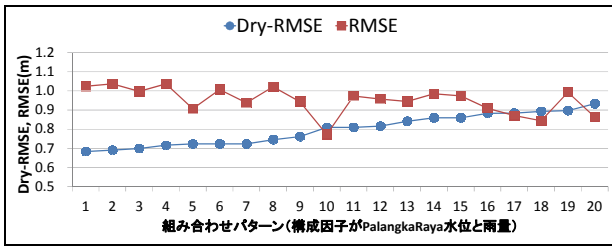


図-6 Dry-RMSEとRMSEの推移（1ヶ月先予測，構成因子がPalangkaRaya水位と雨量）

似たパターンだとすると，B時の将来水位とC時の将来水位の平均をA時の予測水位とする。

ここで，連続する水位の個数（以下M）と過去からの事例の抽出数（以下K）は様々な組み合わせが考えられ，図-5はM=4，K=2の例である。また，他の水文データの現在と過去のパターンの比較も合わせて利用することもでき，これを構成因子という。

なお，類似した過去の水位パターンの抽出には，次式に示すユークリッド距離が小さくなるものを抽出する。  
ユークリッド距離=

$$\sqrt{\{H_x(n) - H_x(m)\}^2 + \{H_x(n-1) - H_x(m-1)\}^2 + \dots} \quad (1)$$

ここで， $H_x(n)$ はX地点の現在水位， $H_x(m)$ はX地点の過去水位， $n-1$ ， $m-1$ はそれぞれ1時点前データである。

NNMを用いた水文資料の予測については，洪水時の水位予測や感潮河川の水位予測へ適用した満倉ら<sup>11),12)</sup>，過去のデータベースの期間の長さや流域内雨量観測点数が予測精度に及ぼす影響を詳細に検討し，流出予測を行った藤原ら<sup>13)</sup>，Kahayan川の水位の日単位予測を試みた三野ら<sup>14)</sup>の研究事例があるが，低水位予測に主眼を置いた研究は稀であるといえる。

### (2) 予測対象期間とデータベース期間

予測対象期間は，近年において比較的連続して観測が行われている2002年～2005年とし，データベース期間は，PalangkaRaya観測所において水位観測が始まった1980年～2000年とした。使用するデータは全て月データである。

### (3) 構成因子，M，Kの選定

まず，構成因子にPalangkaRaya観測所のみを用いる場合と，流域平均雨量（以下，雨量とは全て流域平均雨量を表す）を追加する場合の2通りを考える。この時，PalangkaRaya水位のM（以下，MWp），雨量のM（以下，MR），Kはさまざまな組み合わせが考えられることから，組み合わせを変化させそれぞれ予測を行い，誤差が少なくなるような組み合わせを選定する。今回は，Mはそれぞれ2～5，Kは1～20の範囲で選定を行う。

また，PalangkaRaya水位と雨量の数値にはおおよそ100倍の差が存在する。このためユークリッド距離の算出時に，水位によるものと雨量によるものが等価でなくなるといった問題が生じる。よって，雨量データを100

表-2 組み合わせパターン表

組み合わせパターン	MWp	MR	K	組み合わせパターン	MWp	MR	K	組み合わせパターン	MWp	MR	K
1	5	4	1	8	5	3	3	15	3	4	2
2	5	4	2	9	5	3	5	16	5	2	2
3	5	3	2	10	3	2	2	17	3	4	3
4	5	3	4	11	5	2	3	18	3	3	2
5	4	2	1	12	5	2	4	19	4	3	6
6	5	2	1	13	4	4	2	20	4	2	2
7	5	3	1	14	2	4	2				

で除し，水位データと雨量データのオーダーを揃えるという処理を行った。

誤差評価には，次式に示す平均二乗誤差平方根（以下RMSE）を用い，RMSEが小さいものを誤差が小さいとみなす。また，全期間のRMSEとは別に，本研究では乾季に着目した誤差として，7～9月の3ヶ月間を抽出したRMSE（以下，Dry-RMSE）についても合わせて用いる。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (H_{cal} - H_{obs})^2}{N}} \quad (2)$$

ここで， $H_{cal}$ は予測水位(m)， $H_{obs}$ は観測水位(m)， $N$ はデータ数である。

まず，2002～2003年の1ヶ月先予測において構成因子，M，Kの全ての組み合わせでDry-RMSE，RMSEを求めた。構成因子は雨量を加えたものとし，Dry-RMSEが小さい順にM，Kの組み合わせパターンを並べたときのDry-RMSEとRMSEの推移を図-6に示す。この際，構成因子がPalangkaRaya水位のみの場合も図-6と同様に作成したが，Dry-RMSE，RMSEの値が図-6よりも大きな値で推移していたため，雨量を加えた場合を構成因子として選定した。また，図-6の組み合わせパターンに着目すると，組み合わせパターン10のときにDry-RMSEとRMSEが総合的に小さくなることから，組み合わせパターン10であるMWp=3，MR=2，K=2を選定した。（表-2参照）

### (4) 水位予測結果

水位予測を実施し結果の検証を行う。本研究では以下の6パターンの予測を試み，予測結果を表-3に示した。

- ① 前節において選定された構成因子，M，Kを用いて2002年～2003年の1月先の予測を行う。
  - ② 前節において選定された構成因子，M，Kの汎用性を確認するために，選定に使用した期間とは別の期間である2004年～2005年の予測を試みる。
  - ③ 予測パターン①と予測パターン②を合わせて2002年～2005年の予測とし，実測水位との比較を行う。
  - ④ 下流の観測所であるMantaren観測所の水位を構成因子に追加することで，精度の向上を試みる。
  - ⑤ リードタイムを2ヶ月とし，2ヶ月先予測はどの程度行えるのかを検証する。
  - ⑥ 実測雨量ではなくGPCPグリッドデータの雨量（以下，GPCP雨量）にした場合の予測精度を検証する。
- 表-3について，予測パターン①と予測パターン②のDry-RMSEとRMSEをそれぞれ比較するとほぼ同じ精度

表-3 予測結果表

予測パターン	データベース期間	予測期間	使用した雨量	リードタイム	構成因子	連続データ数	抽出水位数	Dry-RMSE(m)	RMSE(m)
①	1980年～2000年	2002年～2003年	実測雨量	1ヶ月	PalangkaRaya水位, 雨量	MWp=3,MR=2	2	0.809	0.772
②	1980年～2000年	2004年～2005年	実測雨量	1ヶ月	PalangkaRaya水位, 雨量	MWp=3,MR=2	2	0.847	0.712
③	1980年～2000年	2002年～2005年	実測雨量	1ヶ月	PalangkaRaya水位, 雨量	MWp=3,MR=2	2	0.828	0.740
④	1996年～2000年	2002年～2005年	実測雨量	1ヶ月	PalangkaRaya水位, 雨量, Mantaren水位	MWp=2,MR=2,MWm=2	2	0.424	1.054
⑤	1980年～2000年	2002年～2005年	実測雨量	2ヶ月	PalangkaRaya水位, 雨量	MWp=4,MR=2	2	1.425	1.154
⑥	1980年～2000年	2002年～2005年	GPCP雨量	1ヶ月	PalangkaRaya水位, 雨量	MWp=3,MR=4	5	1.022	0.857

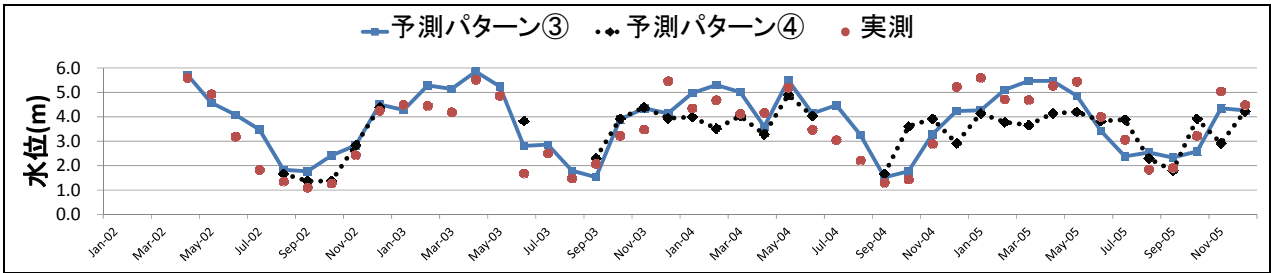


図-7 1ヶ月先の予測結果

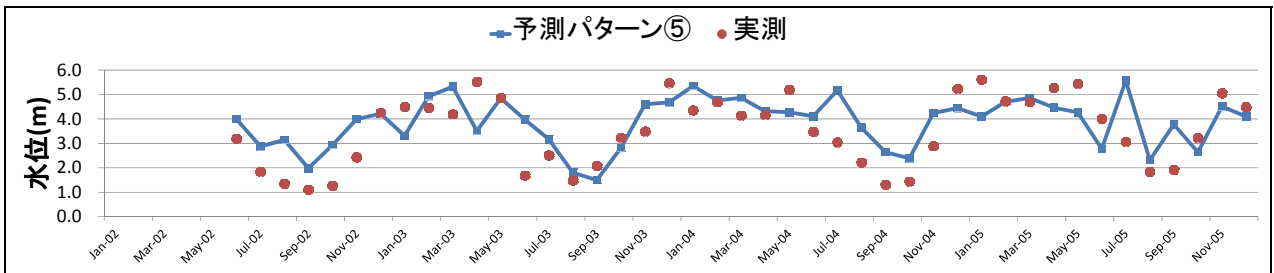


図-8 2ヶ月先の予測結果

で予測が行われていることがわかり、選定された構成因子、M、Kが汎用性を持っていることが検証された。

次に、予測パターン①と予測パターン②を合わせ、2002年～2005年の予測としたものが予測パターン③であり、予測水位と実測水位の比較を図-7に示した。ここで予測パターン③について、02年の1月～3月は水位が記されていないが、これは01年の水位が欠測であったために予測が行えなかった期間である。図-7の予測パターン③と実測に着目すると、実測水位の変動に沿って予測水位も同様の変動を示し、水位の傾向を十分に再現出来ていることがわかる。これは、1ヶ月という予測期間を考えると十分に評価できるものである。しかしながら、02年の低水時が過大に予測されており、03年の低水時は水位低下が遅れており精度の改善が求められる期間が存在することから低水時予測の精度をさらに向上させるために予測パターン④として、下流のMantaren観測所において観測された水位を構成因子に加えることを考えた。Kahayan川は内陸部まで潮汐の影響を大きく受けることが知られているが、潮位の観測は十分に行われていない。そこで、Mantaren観測所(図-1参照)で観測された水位を構成因子に組み込むことで、間接的に潮汐の影響を含めた予測が行われるのではないかと考えた。

Mantaren水位を構成因子に含めたときのMWp, MR, Mantaren水位のM(以下, MWm), Kの組み合わせを図-6と同様のグラフを作成し、選定した。MWp, MR, MWm, Kの組み合わせは表-3の通りであり、予測水位を図-7に示した。なお、図-7の予測パターン④では水位

が記されていない期間が大幅に増加しているが、これはMantaren水位が欠測であったためのものである。

図-7の予測パターン④と実測に着目すると、02年の低水位時の予測精度が格段に向上しており、05年の低水位時の予測精度も改善されていることから、低水位時の予測精度については大きく改善される可能性が示されたといえる。しかし、表-3のRMSEの値を見るとわかる通り全体的な精度としては良いとは言えず、図-7より高水時は悪化していることがわかる。このことから、低水時予測と高水時予測それぞれにおいて使い分けが必要であるといえる。RMSEが大きな値となった理由を考察すると、Mantaren観測所で水位が観測されたのは1996年からであるため、データベース期間が激減する(表-3, データベース期間参照)ことが大きな理由として考えられる。

さらに、予測パターン⑤として、2ヶ月先の予測がどの程度行えるのかを検証した。構成因子をPalangkaRaya水位と雨量とし、予測パターン①と同様に2002年～2003年の予測において構成因子の検討を行い、2002年～2005年の予測を図-8に示した。図-8に着目すると、水位の傾向を再現出来ている期間とそうでない期間が存在し、予測精度が不安定であることがわかる。しかしながら、実測水位と全く異なっている訳ではなく、今後精度を向上させていく上での足掛かりとなっている。

最後に予測パターン⑥とし、GPCPより2.5°グリッドデータ<sup>10)</sup>を使用し、実測雨量を用いた場合に対しどのような精度の違いが生じるかを検証した。なお、使用したGPCP雨量についてはPalangkaRaya観測所に最も近いグ

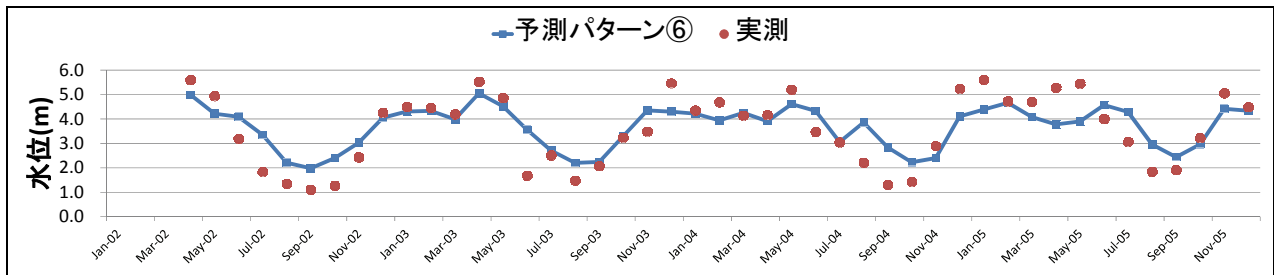


図-9 GPCP雨量を用いた1ヶ月先の予測結果

リッドを抽出し、その雨量データを使用している。

PalangkaRaya水位とGPCP雨量を構成因子として考え、予測パターン①と同様に最適なM, Kを選定し、2002年～2005年の予測を行い図-9に示した。図-9を見ると、予測水位が実測水位に比べて変動幅が小さく、低水位の定量的な再現には至っていないことが見受けられるが水位の上昇や低下といった傾向は十分に再現できていることがわかる。このことから、実測雨量が欠測などにより使用できない状況であってもGPCP雨量を用いることで最低限の予測が可能であると判断できる。

## 5. まとめ

本研究で得られた知見を下記に示す。

- 1) El Niño event・IODといった気象現象はKahayan川の流域雨量と密接に関係しており、特にEl Niño eventはKahayan川の水位低下の大きな要因となっていることが示された。
- 2) 適切な構成因子, M, Kを選定した結果, 1ヶ月先の予測については十分に傾向をとらえた予測が可能であり, さらに構成因子選定に用いた期間と予測期間を変化させて予測を行うことにより, 汎用性を確認できた。また, 予測地点よりも下流の水位を構成因子に組み込むことで, 低水位予測の精度が向上する可能性が示された。
- 3) GPCP雨量を用いた予測を試みた結果, 実測雨量が使用できない状況であっても, GPCP雨量を用いて最低限の予測は可能であることが示された。

雨量を構成因子に組み込んだ予測により十分に評価できる結果が得られ, その雨量はEl Niño eventなどの気象現象に左右されることが示された。今後, さらに予測精度向上を図ることで地下水をコントロールするための, 実用的手法の提案につなげていきたい。

**謝辞:** 本研究を遂行するにあたりKahayan川関連データを提供して頂き, また現地調査で大変お世話になりましたJST/JICAプロジェクト:インドネシアの泥炭・森林における火災と炭素管理, 地域管理グループのNPO法人北海道水文気候研究所の高橋英紀先生, 株式会社リブテックの板倉忠興先生, 北見工業大学の渡邊康玄先生, 日本

工営株式会社の杉本光様, PalangkaRaya大学のAswin Usup先生に対し, ここに記して深謝致します。

## 参考文献

- 1) JST/JICA プロジェクト HOME  
<http://www.census.hokudai.ac.jp/html/JSTJICA/jp/index.html>
- 2) 佐藤空, 井上京, 石倉究, 波多野隆介, 平野高司, 高橋英紀, Untung DARUNG, Adi JAYA, Suwido LIMIN: インドネシア中部カリマンタン州の熱帯泥炭地における地下水変動と泥炭火災, 日本湿地学会第2回学術報告会, 2010.
- 3) 早坂洋史, エリアント インドラ プートラ, アスウィン ウッスプ, ユリアンティ ニナ: インドネシア, カリマンタン島での最近の泥炭火災傾向, Japan Geoscience Union Meeting 2010.
- 4) 三宅龍平, 井上京, アディ・ジャヤ, ウントウン・ダレン: カリマンタン熱帯泥炭地における蒸発散量と流出量の推定, 農業土木学会全国大会講演要旨集, pp.698-699,2005.
- 5) 国際機関日本アセアンセンターHP: <http://www.asean.or.jp/ja>
- 6) 気象庁 HP: <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 7) 山形俊男: インド洋のダイポールモード現象と日本の夏, 海洋政策研究財団, 第17回フォーラム, 2004
- 8) 社団法人電力土木技術協会 HP: <http://www.jepoc.or.jp/>
- 9) 海洋研究開発機構, 地球環境フロンティア研究センター HP: <http://www.jamstec.go.jp/frcg/jp/index.html>
- 10) ドイツ気象局 HP: <http://www.dwd.de/>
- 11) 満倉真, 貞本均, 中津川誠: Nearest-Neighbor 法による大 河川の洪水予測について, 河川技術論文集, 第8巻, pp.443-448,2002.
- 12) 満倉真, 貞本均, 中津川誠: Nearest-Neighbor 法による感 潮河川の水位予測, 水文・水資源学会誌, Vol.15,No.4, pp.371-380,2002.
- 13) 藤原洋一, 田中丸治哉, 畑武志, 多田明夫: Nearest-Neighbor 法による実時間流出予測の実用的適用法に関する研究, 水文・水資源学会誌 Vol.16,No.1,pp.33-44,2003.
- 14) 三野基之, 中津川誠, 板倉忠興, 杉本光: Nearest-Neighbor 法を用いたインドネシア Kahayan 川の水位予測, 土木学会北海道支部論文報告集, 67号, B-34,2011.

(2011.9.30受付)