室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

気候変動の影響を考慮したインドネシアKahayan川における長期水位予測

メタデータ	言語: jpn 出版者: 土木学会 公開日: 2019-12-10 キーワード (Ja): 雨量予測, 水位予測, Nearest-Neighber法, 気候変動, 海面水温 キーワード (En): Rainfall forecast, Water level forecast, Nearest-Neighber Method, Climate Changes, Sea Surface Temperature 作成者: 吉田, ちあき, 中津川, 誠, 工藤, 俊 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00010075

気候変動の影響を考慮したインドネシアKahayan川における長期水位予測

STUDY ON LONG-TERM FORECASTS OF WATER LEVELS FOR THE KAHAYAN RIVER IN INDONESIA CONSIDERING THE INFLUENCE OF GLOBAL CLIMATE CHANGES

吉田ちあき[1]・中津川誠[2]・工藤俊[3]
Chiaki YOSHIDA, Makoto NAKATSUGAWA, and Shun KUDO

[1]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）
[2]正会員　博士（工学）　室蘭工業大学大学院工学研究科　（〒050-8585 室蘭市水元町27-1）
[3]正会員　独立行政法人　土木研究所　（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

The purpose of this study is to forecast rainfall and river water levels for the Kahayan River in Indonesia and to provide the forecast information to mitigate peat fires. Specifically, rainfall prediction was done first by using the rainfall values observed on the land surface, the dataset provided by the Global Precipitation Climatology Project (GPCP) and the Nearest-Neighbor Method (NNM). Then, water level prediction was done by inputting the predicted rainfall values into the hydrological model. In forecasting the water level, climate changes such as those related to El Niño were taken into consideration by incorporating the Sea Surface Temperature (SST) into the forecast factors. The accuracy of water level forecasts at times of low water in the dry season with scant rainfall was improved by using the lower limit value of predicted rainfall based on the error evaluation. It was demonstrated that long-term water level forecasts with 1- to 3-month lead times were able to be done with reasonable accuracy.

Key Words: *Rainfall forecast, Water level forecast, Nearest-Neighbor Method, Climate changes, Sea Surface Temperature*

１．はじめに

インドネシアには広大な熱帯泥炭地が存在している．1990年代から始まった農業開発の影響により，地下水位の低下などによる泥炭地の乾燥化が進み，大規模な泥炭火災が発生している[1)]．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[2)]，地球温暖化を促進させるとして，インドネシアの泥炭火災が国際的な問題となっている．

これまでインドネシアの泥炭火災についての研究として，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位変動と泥炭火災の関係を分析した佐藤ら[3)]，Kahayan川流域における近年の水収支を検討した上で流出再現計算を試みた辻ら[4)]，El Niño eventを左右するSea Surface Temperature（以下，SST）に着目し，Kahayan川の水位予測を試みた工藤ら[5)]の研究などがある．

地下水位と連動している河川水位をコントロールすることで泥炭地の乾燥化の抑制が可能であると考えられるが，研究対象としたKahayan川流域は地理情報，水文情報が充実していないため，データが乏しい中での水位予測手法の確立が必要である．そこで本研究では特に泥炭火災のリスクが高まる少雨，低水位時を主眼に，以下の手順で水位予測精度向上を図った．

1) 現地の地上観測雨量，全球降水気候計画（Global Precipitation Climatology Project）（以下，GPCP）が提供している降水データセットをNearest-Neighbor Method（以下，NNM）に適用し，リードタイム1～3ヶ月の雨量予測を行った．
2) 予測雨量の精度改善を図るため，NNMの構成因子としてSSTを考慮した上で，予測誤差の幅の下限値を採用することにより，さらに低水位時に対して安全側の評価を可能にした．
3) 予測雨量をタンクモデルに入力して流量予測，さらにH-Q式を用いて水位に換算し，リードタイム1

～3ヶ月の水位予測を行った．

２．方法

(1) 対象地点

本研究で対象としたKahayan川は，インドネシア・中部カリマンタンに位置している．本研究では**図-1**に示す流域中下流部の中心都市に位置するPalangkaRaya観測所（流域面積 12,570km^2）を対象とした水位予測の結果を示す．この地点の下流では，Kahayan川と隣接するSebangau川を接続するKalampangan運河が存在し，河川や運河の水位変化が周囲の泥炭地の乾燥化に関係しているとみられ，当該地点での予測が重要である．

また，本研究では低水位時を事前に予測をすることで河川・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に役立てたいと考え，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いことを考慮し，月単位での雨量・水位予測を試みる．

(2) NNMを用いた雨量予測

NNMはパターンマッチング手法の一つであり，現在の雨量パターンと類似した過去の雨量パターンを抽出し，抽出された過去の雨量パターンの将来雨量を予測雨量とする手法である．予測雨量を算出する際に，連続する雨量の個数（以下，M）と過去から抽出する事例数（以下，K）の値を選定する必要があり，**図-2**はM=4，K=2の例である．また，雨量のみならず他の気象水文データの現在と過去のパターンを評価することもでき，これらを構成因子と呼ぶことにする．

NNMを用いた水文学分野の研究については，Karlsson and Yakowits[6]が実時間洪水予測に初めて応用した．この他，融雪のある河川の日流量予測に適用したGaleati[7]，藤原ら[8]，感潮河川の水位予測へ適用した満倉ら[9]の研究など洪水予測の研究事例はあるが，数ヶ月先の低水位予測を目的とした研究はない．

今回NNMの構成因子として使用する水文情報は，一つはインドネシアの中央カリマンタン州から提供されたPalangkaRaya観測所とKualaKurun観測所の日雨量データを算術平均して流域平均雨量とし，これを累積して月雨量（以下，地上雨量）を算出する．この際，日雨量の欠測については0mm/dayとしたが，それが2割以上ある月の雨量は欠測として評価対象から除外した．

もう一つは，GPCPのプロダクトである0.5°グリッドデータ[10]（Full Data Reanalysis Version6）を使用する．GPCPでは衛星降水量を雨量計降水量によってキャリブレーションされた降水データセットを公開しており[11]，**図-1**に示すように流域内に存在するグリッドを5点抽出した後，それらの月雨量データを算術平均して流域平均雨量（以下，GPCP雨量）とする．

また，工藤ら[5]はKahayan川の水位変動とEl Niño eventを左右するSSTが相関関係を有していることを指摘しており，SSTをNNMに組み込むことを提案している．SSTデータは，気象庁[12]がEl Niño event発生の判断基準としている南米ペルー沖のエルニーニョ監視海域「NINO.3」（5N-5S,150W-90W）の月毎の海面水温値を使用した．これら地上雨量のM（以下，MR），GPCP雨量のM（以下，MR(G)），SSTのM（以下，MS）をNNMの構成因子に組み込んだ雨量予測を行う．

誤差評価には，予測値と実測値の平均二乗誤差平方根（以下，RMSE）を用いる．また，全期間のRMSEとは別に，本研究では乾季の予測に着目するため，現地の乾季に相当する7～9月の3ヶ月間を抽出したRMSE（以下，Dry-RMSE）も合わせて使用する．

予測対象期間は，近年において比較的欠測が少なく連続して観測が行われている2004年～2007年とし，過去の類似した事例を抽出するデータベース期間は1981年～2003年とした．各M，Kの値の組み合わせについては，既存の研究事例[5]を参考に選定する．MとKを大きな値にすると予測値が平滑化されてしまうため，Mを2～5，Kを1～5の範囲とし，2002年～2003年の雨量予測をした際に最もDry-RMSEの値が小さいものを選定した．

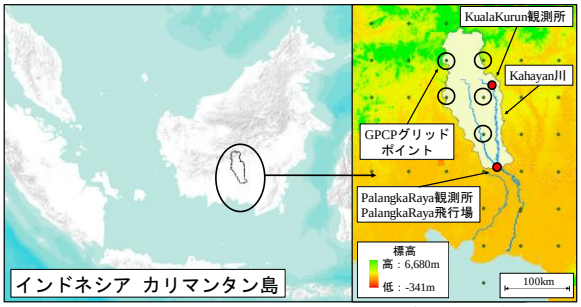


図-1 Kahayan川，流域内観測点，GPCPグリッドポイント

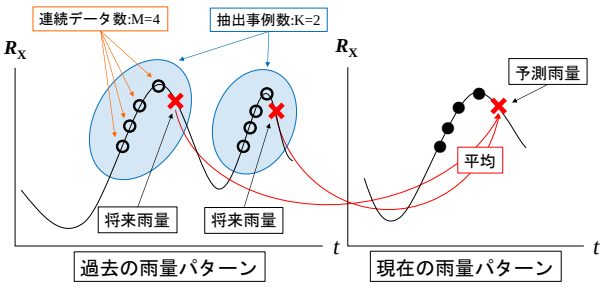
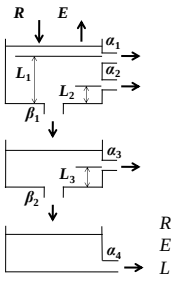


図-2 NNMのイメージ図



タンクモデル 各パラメータ

	一段目	二段目	三段目
流出孔の高さ(mm)	L_1=30.00 L_2=20.00	L_3=10.00	
流出係数	α_1=0.20 α_2=0.20	α_3=0.15	α_4=0.05
浸透係数	β_1=0.30	β_2=0.20	

R：予測雨量(mm/day)　α：流出孔の流出係数
E：実蒸発散量(mm/day)　β：陣頭流出孔の浸透係数
L：流出孔の高さ(mm)

図-3 流出モデルの構造

表-1　予測パターンと結果の一覧

予測パターン	予測対象	リードタイム	予測対象期間	構成因子	連続データ数(M)	抽出事例数(K)	RMSE	Dry-RMSE
①	雨量	1ヶ月	2004年～2007年	地上雨量	MR=3	3	130 mm/mon	173 mm/mon
②	雨量	1ヶ月		地上雨量・SST	MR=3・MS=4		88 mm/mon	69 mm/mon
③	雨量	1ヶ月		GPCP雨量	MR(G)=3	4	115 mm/mon	137 mm/mon
④	雨量	1ヶ月		GPCP雨量・SST	MR(G)=3・MS=4		107 mm/mon	105 mm/mon
⑤	雨量	1ヶ月		予測パターン④の補正			105 mm/mon	96 mm/mon
⑥	雨量	1ヶ月	2004年～2010年	GPCP雨量・SST	MR(G)=3・MS=4	4	112 mm/mon	108 mm/mon
⑦	雨量	1ヶ月		予測パターン⑥の補正			118 mm/mon	128 mm/mon
⑧	雨量	2ヶ月	2004年～2007年	GPCP雨量・SST	MR(G)=4・MS=4	4	111 mm/mon	110 mm/mon
⑨	雨量	2ヶ月		予測パターン⑧の補正			108 mm/mon	82 mm/mon
⑩	雨量	3ヶ月		GPCP雨量・SST	MR(G)=5・MS=3	3	124 mm/mon	123 mm/mon
⑪	雨量	3ヶ月		予測パターン⑩の補正			116 mm/mon	87 mm/mon
⑫	水位	1ヶ月		予測パターン②の予測雨量を流出モデルに入力			0.890 m	0.734 m
⑬	水位	1ヶ月		予測パターン④の予測雨量を流出モデルに入力			0.953 m	0.908 m
⑭	水位	1ヶ月		予測パターン⑤の補正予測雨量を流出モデルに入力			0.946 m	1.138 m
⑮	水位	1ヶ月	2004年～2010年	予測パターン⑥の予測雨量を流出モデルに入力			1.219 m	1.110 m
⑯	水位	1ヶ月		予測パターン⑦の補正予測雨量を流出モデルに入力			1.459 m	1.935 m
⑰	水位	2ヶ月	2004年～2007年	予測パターン⑧の予測雨量を流出モデルに入力			1.055 m	1.004 m
⑱	水位	2ヶ月		予測パターン⑨の補正予測雨量を流出モデルに入力			0.954 m	0.757 m
⑲	水位	3ヶ月		予測パターン⑩の予測雨量を流出モデルに入力			1.236 m	1.208 m
⑳	水位	3ヶ月		予測パターン⑪の補正予測雨量を流出モデルに入力			1.164 m	1.065 m

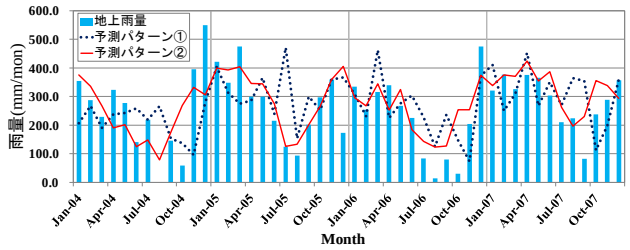


図-4　NNMによる雨量予測結果
（地上雨量使用，リードタイム1ヶ月）

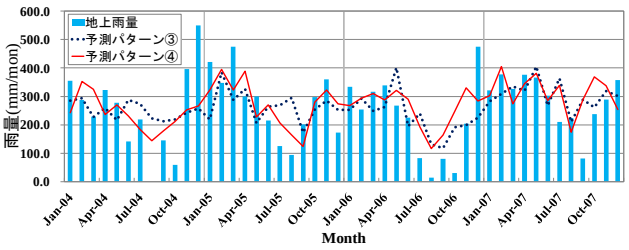


図-5　NNMによる雨量予測結果
（GPCP雨量使用，リードタイム1ヶ月）

(3) タンクモデルを用いた水位予測

続いて，タンクモデルを用いた流出予測を行う．本研究で使用するタンクモデル及びパラメータは，PalangkaRaya観測所を対象とした1981年～2010年の30年間の流出再現計算によって辻ら[4]，工藤ら[5]が検証したものを使用する．モデルの構造を**図-3**に示す．

タンクモデルに入力する降雨量については，NNMで求めた予測雨量から実蒸発散量を差し引いた有効雨量を入力値とする．近藤[13]は，インドネシア付近での実蒸発散量と可能蒸発散量の比は約2/3という見解を示しており，1981年～2003年の月別平均気温から月別可能蒸発散量をHamon法で求め，それに2/3を乗じて算出したものを実蒸発散量とした．それに必要な気温データについては，PalangkaRaya飛行場（**図-1**）で観測されたものを使用する．また，本研究では月雨量を日数で除した月平均雨量による日単位の流出計算を行う．それを月平均して月平均流量を算出する．この手順で月雨量に予測雨量を用いると，月平均流量の予測値が算出できる．

最後に，タンクモデルを用いて算出した予測月平均流量をH-Q式に入力して水位に換算する．H-Q式は，現地で観測した流量データを基に，下式を得ている[5]．

$$H = 0.13Q^{0.5} - 0.15 + 15.15 \quad (\mathrm{m,ASL}) \qquad (1)$$

ここで，HはPalangkaRaya観測所の水位(m)である．15.15はPalangkaRaya観測所の基準面からの水位をASLに変換するための数値であり，ASLは平均海水面からの高さ（Above Sea Level）を表す．

3．結果と考察

(1) NNMを用いた雨量予測

本節では構成因子の組み合わせを，①地上雨量のみ，②地上雨量とSST，③GPCP雨量のみ，④GPCP雨量とSSTとした4パターンを考え，リードタイム1ヶ月の雨量予測（**表-1**，予測パターン①～④参照）を行った．

図-4は地上雨量と予測パターン①，②，**図-5**は地上雨量と予測パターン③，④を比較したものである．両図より，NNMの構成因子にSSTを組み込まない予測よりも，SSTを組み込んだ予測の方が全体を通して地上雨量をより良く予測できていることがわかる．特に乾季においては，予測雨量と地上雨量との差が縮まっていることが確認できる．これは，**表-1**に示す予測パターン①～④のRMSE及びDry-RMSEの結果からも確認できる．

(2) タンクモデルを用いた水位予測

次に前節で予測精度の良かった予測パターン②，④の予測雨量から実蒸発散量を差し引いて求めた有効雨量をタンクモデルに入力し，流出予測を行う．これをH-Q式で水位に換算し，得られたリードタイム1ヶ月の水位予測結果を**図-6**（赤線），**図-7**（赤線）に示す．

なお，先に述べた通り，ここで得られるのは日単位の水位なので，これを月平均して月単位の水位として示している．両図より，2つの予測水位は概ね実測水位の変動傾向を予測できていることが確認できる．

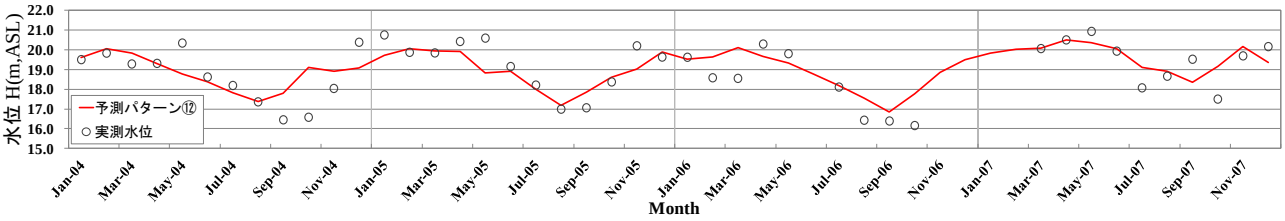


図-6　水位予測結果（地上雨量使用，リードタイム1ヶ月）

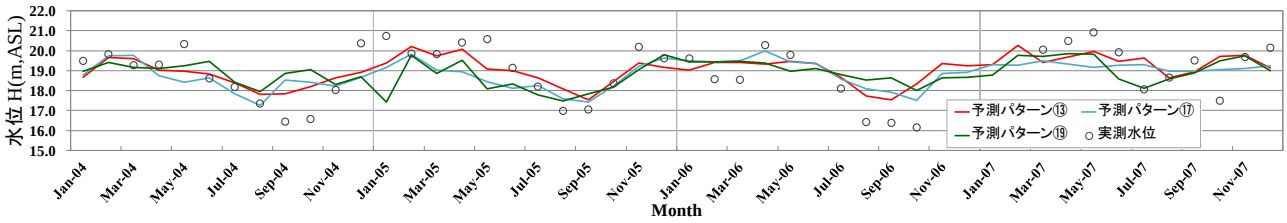


図-7　水位予測結果（GPCP雨量使用，リードタイム1ヶ月，2ヶ月，3ヶ月）

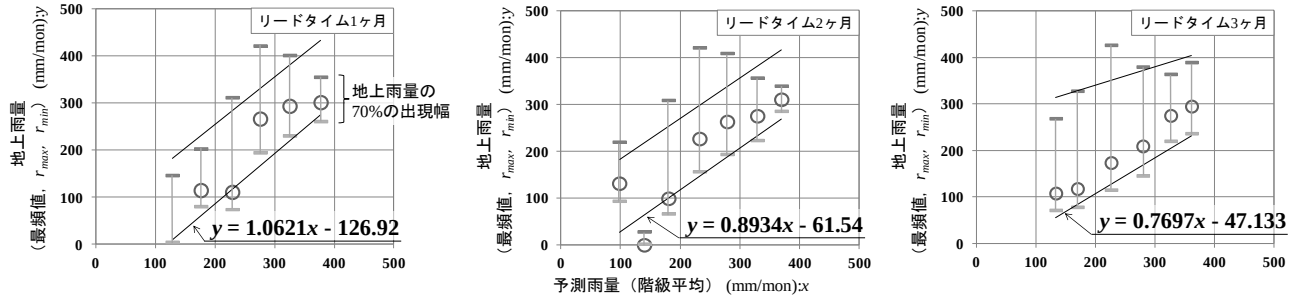


図-8　予測雨量に対する地上雨量の出現幅と補正式

以上より，NNMを用いて求めた予測雨量をタンクモデル，H-Q式といった段階を踏むことで水位予測が可能であることを示した．また，本研究では地上雨量とGPCP雨量を使用した雨量予測，水位予測結果を比較検討してきたが，両者共に似たような予測結果が得られた．GPCPでは欠測のない任意地点での連続した雨量データを取得できるため，地上観測雨量データの代替として衛星雨量データであるGPCP雨量を使用することで，地上観測データが乏しい，あるいは欠測の多い地域での水位予測が十分可能であることを示すことができたと言える．

(3) リードタイムを伸ばした水位予測

上記の手順と同様に，リードタイムを2ヶ月，3ヶ月と伸ばした水位予測を行う．前節により地上雨量の代替としてGPCP雨量を使用した水位予測が可能であることが示されたので，本研究で主目的としている欠測が多い地域での予測を行うため，NNMの構成因子にはGPCP雨量とSSTを使用する．リードタイム毎にNNMの各M，Kを選定したリードタイム2ヶ月，3ヶ月の雨量予測，水位予測結果（**表-1**，予測パターン⑧，⑩，⑰，⑲参照）を比較する．RMSE，Dry-RMSEの値を比較すると，当然であるがリードタイムが伸びるにつれて予測精度が低下している．また，実測水位と予測パターン⑰，⑲を比較したものを**図-7**に示すが，泥炭火災が発生しやすい乾季における低水位時の予測値は実測値よりも高く，特に2004年と2006年については7～9月の低水位に関してかなり危険側で予測されていることがわかる．そこで，乾季における水位予測精度の向上を図るため，NNMにより求めた予測雨量の補正を試みた．

(4) 予測雨量の補正方法

予測雨量の補正については，臼谷ら[14]の予測雨量の誤差評価に基づく補正方法を参考とする．ここでは，NNMにより求めた予測雨量をリードタイム毎に50mm間隔の階級に分ける．次に各階級の予測雨量の平均値，地上雨量の最頻値，地上雨量の70%の出現幅を算出する．地上雨量の70%の出現幅を算出するにあたり，ガンマ分布の確率密度関数$f(x)$を積分し，次式を満たすr_{max}（上限値）とr_{min}（下限値）を求める．

$$\text{上限値：} \int_0^{r_{max}} f(x)dx = 0.85 \qquad (2)$$

$$\text{下限値：} \int_0^{r_{min}} f(x)dx = 0.15 \qquad (3)$$

(5) 補正予測雨量を使用した水位予測結果

前節の手順により求めたリードタイム毎の各階級の地上雨量の最頻値，上限値，下限値をプロットしたものを**図-8**に示す．本研究は，少雨時にどの程度の水位が低下するかを予測することに主眼を置いているため，下限値に着目する．よって下限値の回帰式を用いて泥炭火災のリスクが大きい7～9月の予測雨量を補正し，乾季の低水位を安全側に予測することを試みる．補正した予測雨量を**表-1**の予測パターン⑤，⑨，⑪に示す．なお，回帰式により補正予測雨量値が負になる場合は0mm/monとする．

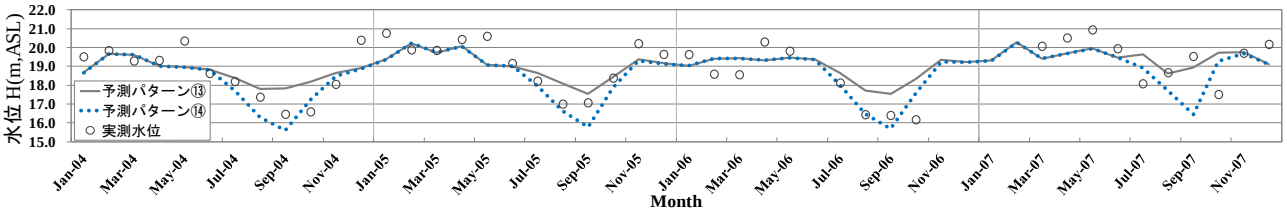


図-9　補正予測雨量を使用した水位予測結果（GPCP雨量使用，リードタイム1ヶ月）

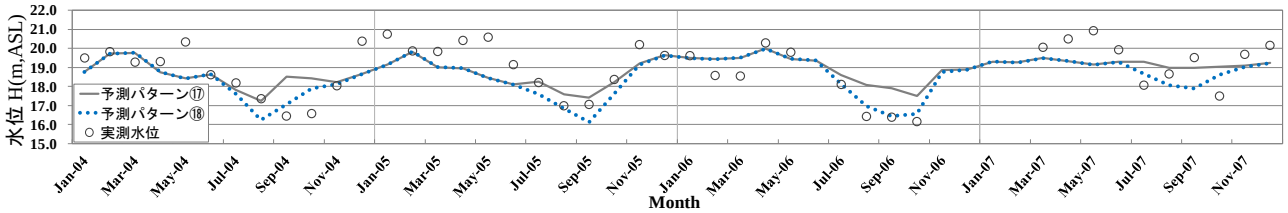


図-10　補正予測雨量を使用した水位予測結果（GPCP雨量使用，リードタイム2ヶ月）

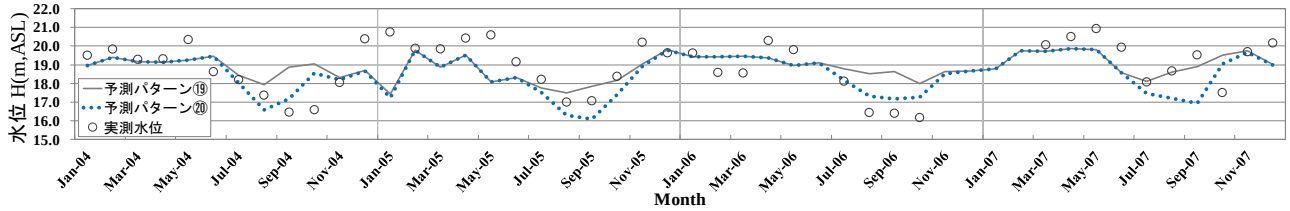


図-11　補正予測雨量を使用した水位予測結果（GPCP雨量使用，リードタイム3ヶ月）

実測水位と上記の補正を施していない予測雨量を用いた予測水位，補正を施した予測雨量を用いた予測水位結果を**図-9**，**図-10**，**図-11**に示す．この結果，補正を行うことでリードタイム1ヶ月（**図-9**）はもとより，本節の課題であるリードタイム2ヶ月（**図-10**），3ヶ月（**図-11**）の乾季の予測水位が実測水位と同じ，もしくは下回る安全側の結果を得ることが出来た．**表-1**ではリードタイム毎の補正前（予測パターン④，⑧，⑩，⑬，⑰，⑲）と補正後（予測パターン⑤，⑨，⑪，⑭，⑱，⑳）のRMSE，Dry-RMSEを比較している．リードタイム1ヶ月に着目すると補正なしよりありでDry-RMSEの値が大きくなった例（**表-1**，予測パターン⑬，⑭）もあるが，全体的にはリードタイム2ヶ月，3ヶ月でも，RMSEとDry-RMSEが向上していると読み取れる．

また，2006年では少雨の影響による大規模泥炭火災が発生しており，水文学的観点のみから見ると2006年の乾季の低水位を予測できることが泥炭火災抑制のための基準になると考えられる．今回予測雨量の補正を行ったことで**図-9**，**図-10**，**図-11**より2006年の低水位を概ね予測できていることから，リードタイム3ヶ月程度までの乾季を重視した予測が可能であることを示すことができた．

(6) 気候変動による水位変化が激しい近年の予測結果

提案手法の一般性を確認するため，予測期間を延長した水位予測を試みた．本節では予測対象期間を2004年～2010年の7年間とした．NNMでの各M，Kの組み合わせは**表-1**の予測パターン④と同様のものを使用する．得られた予測雨量（予測パターン⑥），その予測雨量を基に補正を施した補正予測雨量（予測パターン⑦）を用いたリードタイム1ヶ月の水位予測結果を**図-12**に示す．

図-12より全体を通してある程度の傾向は予測できているが，2009年11月～2010年12月に着目すると実測水位と予測水位結果に不一致が現れている．この期間に起きた気候現象を確認すると，2009年6月～2010年3月の期間ではEl Niño event，2010年7月～2011年3月の期間ではLa Niña eventが発生していた[12]．2009年11月～2010年1月の低水位予測の大幅な誤差の要因は雨季に入ってもなおEl Niño eventが発生しており，2010年7月～2011年3月では乾季にLa Niña eventが発生したことで降雨量が増加して水位低下が起こらなかったことが考えられる．**表-1**の予測パターン⑥，⑦，⑮，⑯のRMSE，Dry-RMSEからも比較的精度が低下しているとわかる．予測精度低下の要因として，過去の類似した事例を抽出するデータベース期間が短いこと，そのデータベース期間中にEl Niño eventと大規模泥炭火災が発生したのは1997年と2002年の2事例だけであり，今回の抽出事例数(K)が4であったため，予測値が平均化されたことが考えられる．今後，NNMの適用時のデータベース期間の延長，予測精度を左右するKと同時にMの組み合わせを見直し，検証を行う必要がある．

また，インドネシアの水位低下にはEl Niño eventの他にIndian Ocean Dipole mode（以下，IOD）が影響すると工藤ら[5]は指摘している．**図-13**は，2004年～2010年までの地上雨量，実測水位，SST，発生した気候現象を示している．**図-13**より，2010年のLa Niña even発生時にはSSTが著しく低く多雨で高水位，2009年のEl Niño even発生時にはSSTが高く少雨で低水位ということが確認でき，SSTと水位，雨量が負の相関関係にあることがわかる．また，2009年のEl Niño event，2006年のIOD発生時の乾季の7～9月の水位変動が類似していることが確認できる．

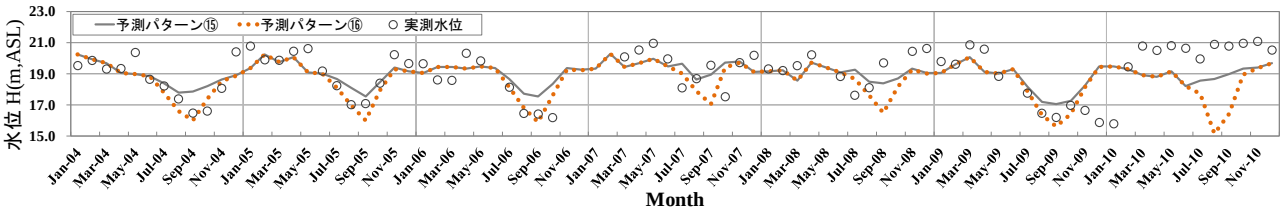


図-12　気象変動による水位変化が激しい近年の水位予測結果（GPCP雨量使用，リードタイム1ヶ月）

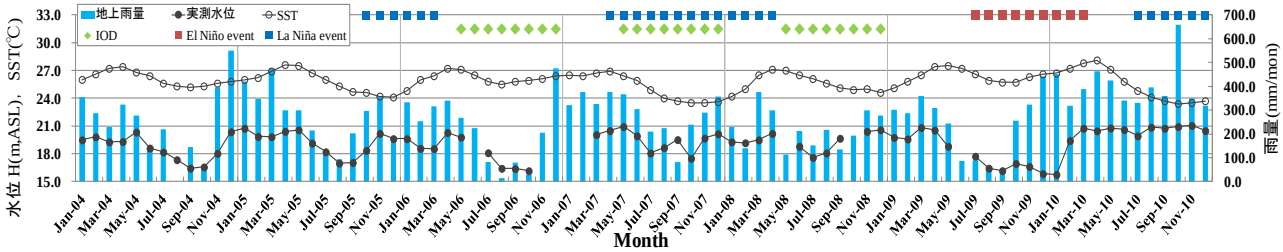


図-13　2004年～2010年の水文データと気候現象の比較

両年は共に大規模泥炭火災が発生していることから，水位予測を行う際にIODも考慮する必要があると言える．このことから，低水位予測精度を更に向上させるためには赤道付近の海面水温値など，地球規模の気候変動要因と降水量との関係を分析することが重要だと考えられる．

4．まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す．

1) 現地の地上観測雨量の代替としてGPCP雨量などの衛星雨量データを使用することで，地上観測雨量の乏しい，あるいは欠測の多い地域での水位予測が可能であることがわかった．
2) 雨量予測の構成因子としてSSTを考慮した上で，さらに予測誤差の幅の下限値を用いて補正した予測雨量を使用することで，乾季の低水位の予測精度の向上を図ることができた．
3) 地球規模気候変動のうち，El Niño eventを考慮した水位予測の可能性を示した．

今後の課題として，インドネシア周辺海域の海面水温値と水位低下の関係性を検証し，El Niño eventやLa Niña event，IODといった赤道付近の海面水温値の変動現象を総合的に分析することで予測精度の向上を図りたい．

謝辞：本研究では地球規模課題対応国際科学協力（SATREPS）プロジェクトの「インドネシアの泥炭・森林における火災と炭素管理」（2008年～2014年3月，代表：大崎満）の一部である．本研究に関わる皆様に謝意を表する．

参考文献

1) Project Overview JST/JICA Project at CENSUS HP : http://www.census.hokudai.ac.jp/html/JSTJICA/
2) 北海道大学サステイナビリティ学教育研究センターHP : http://www.census.hokudai.ac.jp/html/JSTJICA/jp/index.html
3) 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位変動と泥炭火災，日本湿地学会第2回学術報告会，2010.
4) 辻弘平，中津川誠，工藤俊：インドネシアKahayan川流域の水収支と流出量の推定について，土木学会北海道支部論文報告集，第68巻，B-29,2012.
5) 工藤俊，中津川誠：インドネシアKahayan川のエルニーニョ現象に着目した水位予測に関する研究，水工学論文集，第57巻，2013.
6) Karlsson, M and Yakowits, S.: Nearest-Neighbor Methods for Nonparametric Rainfall-Runoff Forecasting, *Water Resources Research*, Vol.23, No.7, pp.1300-1308, 1987.
7) Galeati, G.: A comparison of parametric and non-parametric methods for runoff forecasting, *Hydrological Sciences Journal*, 35, pp.79-94, 1990.
8) 藤原洋一，田中丸治哉，畑武志，多田明夫：Nearest-Neighbor 法による多雪流域の実時間流量予測，農業土木学会論文集，No.210, pp.75-82, 2000.
9) 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.
10) ドイツ気象局HP：http://www.dwd.de/
11) 操野年之：全球降水気候計画（GPCP）第Ⅰ期（1986-1995）の成果及び第Ⅱ期（1996-2002）の計画，気象衛星センター技術報告第32号，pp.43-52, 1996.
12) 気象庁HP：http://www.jma.go.jp/jma/index.html
13) 近藤純正：水環境の気象学，朝倉書店，1994.
14) 臼谷友秀，中津川誠：積算予測雨量に基づいた融雪期におけるダムの洪水調整機能の向上について，土木学会論文集B，Vol.66, No3, pp.268-279, 2010.

（2014. 9. 30受付）