

# 地球規模の海面水温の変動を考慮した インドネシアの河川水位の長期予測

STUDY ON LONG-TERM WATER LEVEL FORECASTING  
FOR A RIVER IN INDONESIA CONSIDERING  
GLOBAL SEA SURFACE TEMPERATURE CHANGES

吉田ちあき<sup>1</sup>・中津川誠<sup>2</sup>・工藤俊<sup>3</sup>

Chiaki YOSHIDA, Makoto NAKATSUGAWA and Shun KUDO

<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 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)

<sup>3</sup>正会員 国立研究開発法人 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. First, rainfall was predicted by using the rainfall dataset provided by the Global Precipitation Climatology Project (GPCP) and the Nearest-Neighbor Method (NNM). Then, water level prediction was conducted by inputting the predicted rainfall values into a hydrological model. We incorporated Sea Surface Temperature (SST) into the NNM to treat El Niño event and the Indian Ocean Dipole mode (IOD) as major factors influencing rainfall in Indonesia. As a result, the forecast accuracy of water level reductions that can lead to large-scale peat fires was improved. 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 forecasting, 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。近年、農業開発のため大規模な土地改良が行われ、地下水位の低下などに伴う泥炭地の乾燥化により、泥炭火災が発生している<sup>1)</sup>。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二酸化炭素が放出されており<sup>2)</sup>、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<sup>3)</sup>、Kahayan川の水位変動要因を踏まえて水位予測を試みた工藤ら<sup>4)</sup>の研究などがある。

研究対象としたKahayan川流域は地理・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、近年情報提供体制が充実している衛星雨量データにNearest-Neighbor Method (以

下、NNM)を適用した雨量予測を行う。欠測の多い水位データをNNMに直接適用して水位予測を行うことは困難であるため、予測雨量を流出モデルの入力条件として水位予測を行う。また、El Niño eventを左右する海面水温に着目したインドネシアKahayan川の水位予測を試みた工藤ら<sup>5)</sup>、タイ国チャオプラヤ川流域におけるダム湖への流入量と広域海面水温偏差の関係をまとめた小林ら<sup>6)</sup>の研究など、海面水温と流域の水文量の関係を分析した研究を踏まえ、地球規模の海面水温の変動を予測に反映させることで、泥炭火災のリスクが高まる乾季の少雨・低水位の予測精度向上を試みる。手順を以下に示す。

- 1) 大規模泥炭火災の発生要因として、インドネシアの降雨量と地球規模の海面水温の関係を分析する。
- 2) NNMを用いたリードタイム1~3ヶ月の雨量予測を行う。この際、気候変動要因の影響を反映させるため、NNMの構成因子に海面水温を組み込む。
- 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う。

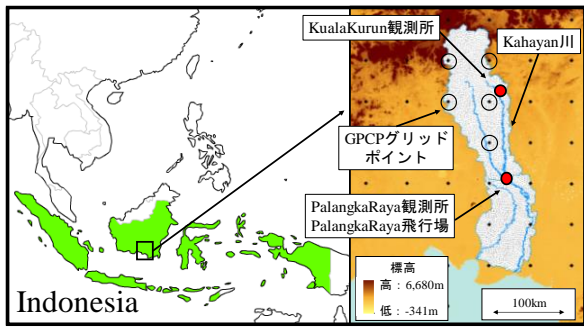


図-1 Kahayan川流域，流域内観測点，GPCPグリッドポイント

表-1 海面水温に関する気候変動要因の概要<sup>7), 8)</sup>

現象	対象海域	東風	海面水温	インドネシア周辺 雨量	インドネシア周辺 海面水温
El Niño event	太平洋	弱	高	少雨	低
La Niña event		強	低	多雨	高
IOD (positive)	インド洋	強	高	少雨	低
IOD (negative)		弱	低	多雨	高

## 2. 方法

### (1) 対象地点

本研究で対象としたKahayan川（流域面積 19,917km<sup>2</sup>）は、インドネシア・中部カリマンタンに位置する。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<sup>2</sup>）を対象とした水位予測を行う。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、本研究で提案する水位予測手法は泥炭火災や渇水リスクを踏まえた泥炭地の乾燥化抑制策や流域の水管理の検討などに役立てたいと考える。そこで、現地での実用性を考慮し、渇水や泥炭火災に関連する低水位時の対応を考えるため、リードタイムを数ヶ月に延長させた月単位での水位予測の精度向上を試みる。

### (2) インドネシアの降雨量に影響を与える気候変動要因の分析

インドネシアでは97年に大規模泥炭火災が発生して以来、2000年代に入ってから02年、06年、09年と大規模な泥炭火災が起きている。そこで、1990年～2009年において大規模泥炭火災や泥炭地の乾燥化の要因となるインドネシアの気候と地球規模の気候変動要因の関係を分析する。この際、インドネシアの降雨量を左右する気候変動要因として、El Niño event・La Niña event・Indian Ocean Dipole mode（以下、IOD）を考える。各現象は海域に吹き込む東風の強さに応じ、海面水温が平年よりも大きく変動することで発生するものであり、概要<sup>7), 8)</sup>を表-1に示す。また、図-2は97年に発生した大規模なEl Niño eventの最盛期である1997年11月の月平均海面水温偏差図であり、気候変動要因が発生することで、地球規

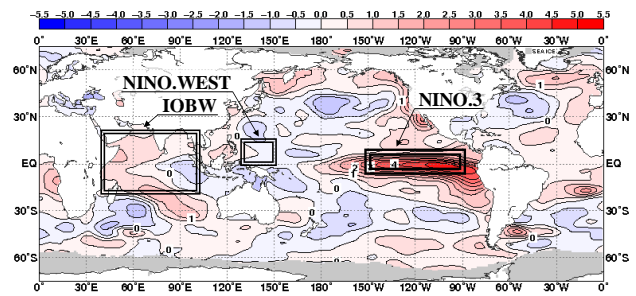


図-2 気象庁「1997年11月の月平均海面水温偏差図」

（気象庁ホームページ：

[http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/data/el\\_nino/clmrep/sst-global.html](http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/data/el_nino/clmrep/sst-global.html) 2015. 8. 25閲覧）を加工して作成

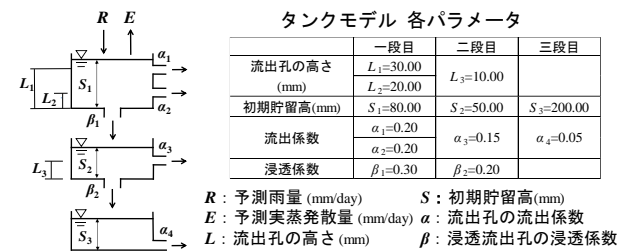


図-3 タンクモデルの構造

模の海面水温が大きく変動していることが確認できる。

分析には、雨量・水位・海面水温データを使用する。雨量データは、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0(mm/day)としたが、それが2割以上ある場合は気象庁の考え方<sup>9)</sup>に準じ、評価対象から除外した。水位データは、PalangkaRaya観測所で観測された日水位を雨量データと同様の手順により月平均したものを使用する。また、本研究では気候変動の発生要因と考えられる地球規模の海面水温に着目する。海面水温データは気象庁<sup>7)</sup>が公開しているEl Niño eventおよびLa Niña event発生判断基準となる南米ペルー沖のエルニーニョ監視海域「NINO.3」（5N-5S, 150W-90W）、IOD発生時に変化が現れるインド洋熱帯域「IOBW」（20N-20S, 40E-100E）、インドネシア周辺海域でインドネシアの降雨量に直接関係すると考えられる西太平洋熱帯域「NINO.WEST」（15N-EQ., 130E-150E）の月データを使用する（範囲は図-2参照）。

### (3) 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に連続する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、連続データ数:M）と過去から抽出する事例数（以下、抽出事例数:K）の値を選定する必要がある。また、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。

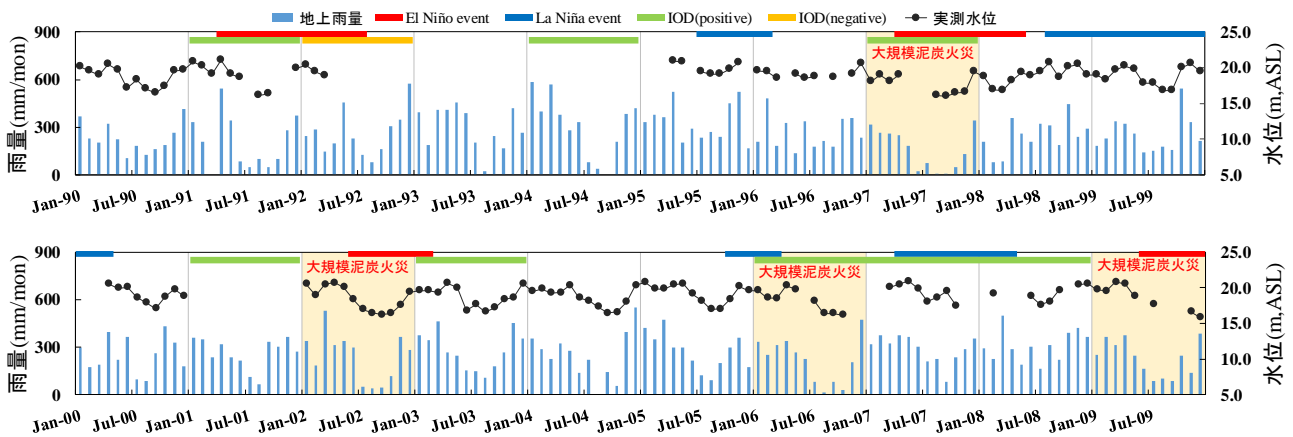


図-4 1990年～2009年の水文データと気候変動要因の比較

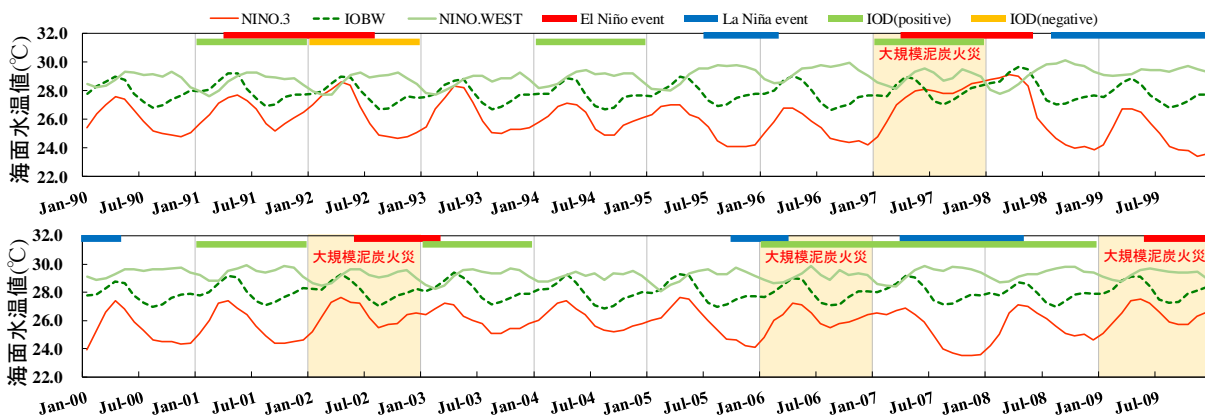


図-5 1990年～2009年の気候変動要因と海面水温の比較

NNMを用いた水文学分野の研究については、Karlsson and Yakowits<sup>10)</sup>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<sup>11)</sup>、藤原<sup>12)</sup>、感潮河川の水レベル予測へ適用した満倉<sup>13)</sup>の研究など洪水予測の研究事例はあるが、低水位予測を目的とした研究はほとんどなされていない。

NNMの構成因子として使用する水文情報は、観測データが乏しい地域での予測に適応させるため、雨量データに衛星雨量を使用する。今回は全球降水気候計画(Global Precipitation Climatology Project) (以下、GPCP)のプロダクトである0.5°グリッドデータ<sup>14)</sup>・<sup>15)</sup>(Full Data Reanalysis Version6)を使用する。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、海面水温は気象庁<sup>7)</sup>が公開しているNINO.3、IOBW、NINO.WESTの海域の月データを使用する。これらGPCP雨量の連続データ数(以下、MR(G))、NINO.3の連続データ数(以下、M3)、IOBWの連続データ数(以下、MI)、NINO.WESTの連続データ数(以下、MW)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、予測値と地上雨量または実測水位の相関係数、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)も使用する。

予測対象期間は、近年大規模泥炭火災が多発していた2000年～2009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を1951年～1999年とする。

各M、Kの値の選定については、既存研究<sup>5)</sup>を参考に選定する。地上雨量と予測雨量の誤差が小さくなるような結果を得るため、Mを2～4、Kを2～4の範囲とし、2002年～2003年の雨量予測をした際に、低水位時の誤差評価Dry-RMSE、全期間の誤差評価RMSEを算出し、両者が共に小さくなるようなパターンを選定した。

#### (4) 流出モデルを用いた水位予測

本研究では雨量から流量に変換するために、図-3に示すタンクモデルを用いる。この際、モデルパラメータは工藤ら<sup>5)</sup>により検証されたもの(図-3)を使用する。ここで、各タンクの初期貯留高は流出再現計算で設定した値をそのまま使用する。なお、各タンクの初期貯留高の感度分析を実施した結果、特に乾季の水位に対する影響は極めて小さいことを確認している。

タンクモデルに入力する雨量については、NNMで求めた予測雨量から予測実蒸発散量を差し引いた予測有効雨量を入力値とする。予測実蒸発散量の求め方として、NNMによって算出した予測気温(M=4、K=4、データベース期間：1980年～1999年)をHamon法に入力することで予測可能蒸発散量を算出する。ここで、近藤<sup>16)</sup>はイ

表-2 予測パターンと結果の一覧

予測パターン	予測対象	予測期間	リードタイム	構成因子	連続データ数(M)	抽出事例数(K)	相関係数	RMSE	Dry-RMSE	単位
①	雨量	2000-2009	1ヶ月	GPCP雨量	M(G)=2	4	0.33	116	137	mm/month
②				GPCP雨量・NINO.3	M(G)=2, M3=3	4	0.57	99	97	
③				GPCP雨量・IOBW	M(G)=2, M1=4	3	0.55	101	104	
④				GPCP雨量・NINO.3・IOBW	M(G)=2, M3=4, M1=3	3	0.63	93	92	
⑤				GPCP雨量・NINO.3・IOBW・NINO.WEST	M(G)=4, M3=4, M1=4, MW=4	2	0.47	111	93	
⑥				GPCP雨量	M(G)=4	3	0.06	135	172	
⑦				GPCP雨量・NINO.3・IOBW・NINO.WEST	M(G)=4, M3=2, M1=4, MW=4	4	0.56	99	99	
⑧	水位	2000-2009	1ヶ月	予測パターン①を流出モデルに入力			0.56	1.20	1.52	m
⑨				予測パターン②を流出モデルに入力			0.73	1.06	1.13	
⑩				予測パターン③を流出モデルに入力			0.65	1.09	1.19	
⑪				予測パターン④を流出モデルに入力			0.74	1.00	0.92	
⑫				予測パターン⑤を流出モデルに入力			0.64	1.09	1.00	
⑬				予測パターン⑥を流出モデルに入力			0.05	1.52	1.71	
⑭				予測パターン⑦を流出モデルに入力			0.73	1.00	0.91	

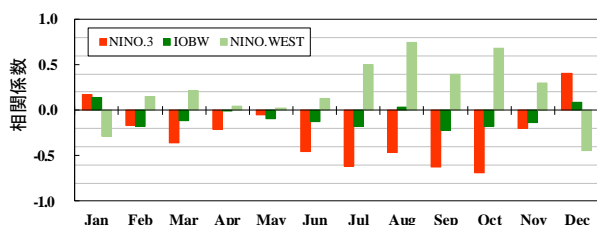


図-6 地上雨量と海面水温の相関関係

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いるため、予測可能蒸発散量に2/3を乗じて算出したものを予測実蒸発散量とした。この際に必要な気温データについては、Palangka Raya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<sup>9)</sup>。

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

ここで、 $Q$ は流量( $\text{m}^3/\text{s}$ )、 $H$ はPalangka Raya観測所の水位(m)である。15.15はPalangka Raya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は平均海面水面からの高さ(Above Sea Level)を表す。

### 3. 結果

#### (1) インドネシアの降雨量に影響を与える気候変動要因の分析

1990年～2009年における地上雨量、実測水位、気候変動要因<sup>4) 6) 7) 8)</sup>を図-4に示す。これから、大規模泥炭火災が発生した97年、02年、06年、09年の乾季では、乾季の平均実測水位18m(ASL)であるのに対して約16m(ASL)と低く、乾季の平均地上雨量130(mm/month)に対し、09年の乾季最大雨量100(mm/month)を下回るような少雨が続き、97年にはEl Niño eventとIOD(positive)、02年と09年にはEl Niño event、06年にはIOD(positive)とインドネシアに少雨をもたらす気候変動要因が発生している。

次に、気候変動要因と海面水温の関係を図-5に示す。

図-4と図-5より、以下の特徴が読み取れる。

- 1) 平年より乾季のNINO.3の海面水温が高い時、インドネシアに少雨をもたらすEl Niño eventが発生している。該当年は、91年、97年、02年、09年である。
- 2) 平年より乾季のIOBWの海面水温が高い時、インドネシアに少雨をもたらすIOD(positive)が発生している。該当年は、91年、94年、97年、01年、03年、06年、07年、08年である。
- 3) 平年より乾季のNINO.WESTの海面水温が低い時、インドネシアに少雨をもたらすEl Niño eventとIOD(positive)の一方、もしくは両方が発生している。該当年は、91年、94年、97年、01年、02年、03年、06年、07年、09年である。
- 4) 平年では乾季のNINO.3、IOBW、NINO.WESTの3つの海面水温の違いが大きいのに対し、これらが近い値を示す場合に少雨・低水位となっている。該当年は、91年、94年、97年、02年、06年、09年である。

大規模泥炭火災が発生した97年、02年、06年、09年の共通点として、上記の特徴に3つまたは4つ当てはまり、どれも特徴4)に該当している。しかし、この共通点に当てはまる91年、94年は大規模泥炭火災が発生していない。これについては、対象地域での農業開発が始まったのは1990年代からであり、整備された排水路による泥炭地の乾燥化への影響が小さかったためと考えられる。

最後に、1981年～2010年を対象として地上雨量と各海面水温の相関係数を月毎に求めた結果を図-6に示す。図-6より、NINO.3とNINO.WESTには少雨となる乾季に強い相関、IOBWは弱い相関が示されていることがわかる。地上雨量とIOBWが弱い相関関係であることについては、図-5よりIOBWはIODや大規模泥炭火災発生時の変動が比較的小さいためと考えられる。しかし、表-1よりIOD発生時に海面水温が変化するインド洋にはIOBWの海域も含まれているため、IOBWも考慮した地球規模での海面水温に着目する必要があると伺える。

以上をまとめると、大規模泥炭火災時にはEl Niño eventとIOD(positive)といったインドネシアに少雨をもたらす気候変動要因が明確に発生していることがわかった。

#### (2) 雨量予測結果(リードタイム1ヶ月)

構成因子の組み合わせを①GPCP雨量、②GPCP雨量と



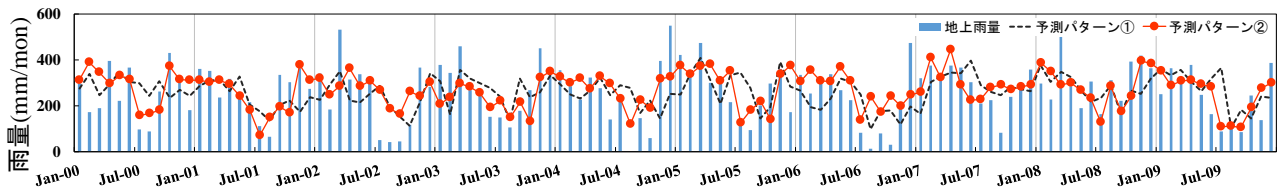


図-7 El Niño eventを考慮していない(予測パターン①)・考慮した(予測パターン②)雨量予測(リードタイム1ヶ月)

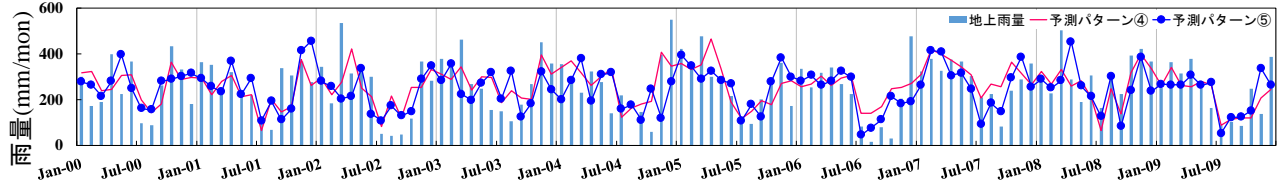


図-8 複合要因を考慮した(予測パターン④と⑤)雨量予測(リードタイム1ヶ月)

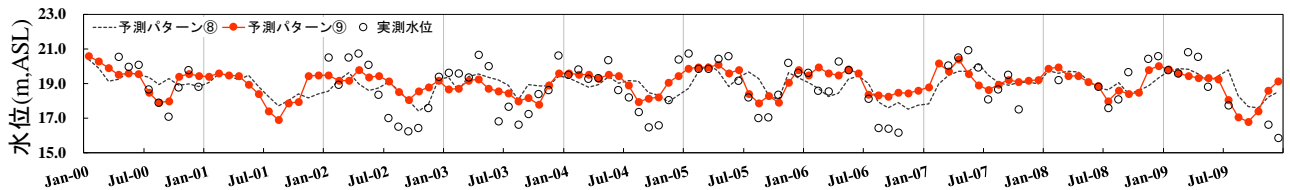


図-9 El Niño eventを考慮していない(予測パターン⑧)・考慮した(予測パターン⑨)水位予測(リードタイム1ヶ月)

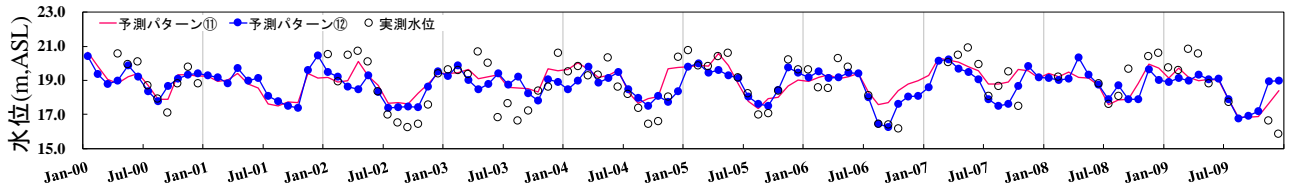


図-10 複合要因を考慮した(予測パターン⑪と⑫)水位予測(リードタイム1ヶ月)

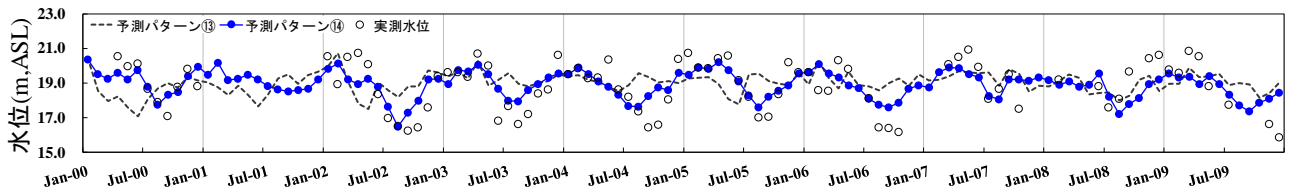


図-11 気候変動を考慮していない(予測パターン⑬)・複合要因を考慮した(予測パターン⑭)水位予測(リードタイム3ヶ月)

NINO.3, ③GPCP雨量とIOBW, ④GPCP雨量とNINO.3とIOBW, ⑤GPCP雨量とNINO.3とIOBWとNINO.WEST, と5パターンの組み合わせを考え, リードタイム1ヶ月の雨量予測(表-2, 予測パターン①~⑤参照)を行った。

表-2より, El Niño eventまたはIODのどちらか一方を考慮するよりも, El Niño eventとIODの複合要因を考慮することで予測精度の向上が確認できる。また, 図-7に予測パターン①と②, 図-8に予測パターン④と⑤を示す。図からも, 複合要因を考慮することで特に乾季の少雨の予測の精度が向上していることがわかる。

### (3) 水位予測結果(リードタイム1ヶ月)

次に予測パターン①~⑤の予測雨量を使用したリードタイム1ヶ月の水位予測結果を表-2(予測パターン⑧~⑫参照)に記す。雨量予測結果と同様に, 複合要因を考慮することで全体の予測精度, 特に乾季の予測精度の向上が確認できる。よって, 表-2の誤差評価から予測パターン④と⑪で使用した構成因子の組み合わせの予測精度が最良であることがわかった。一方, 図-9に予測パ

ターン⑧と⑨, 図-10に予測パターン⑪と⑫を示しているが, 予測パターン⑫は大規模泥炭火災が発生した06年の低水位を予測できていることが確認できる。本研究では, 大規模泥炭火災が発生するような低水位の予測を目的としているため, ここでは予測パターン⑤と⑫の構成因子の組み合わせを高く評価する。

### (4) 水位予測結果(リードタイム3ヶ月)

リードタイム3ヶ月の雨量・水位予測結果を表-2(予測パターン⑥・⑦・⑬・⑭参照)に記す。それぞれリードタイム1ヶ月の結果と比較すると, 複合要因を考慮した予測パターン⑦と⑭は予測精度がほぼ同じような結果を得ることができた。図-11には水位予測結果の予測パターン⑬と⑭を示す。リードタイムを延長してもなお, 予測パターン⑭は大規模泥炭火災が発生した02年の低水位を3ヶ月前に予測できていることが確認できる。また, 相関係数も0.73と強い相関が示され, 複合要因を考慮した予測を行うことで, 本研究の目的であるリードタイムを数ヶ月に延長した水位予測が可能であると言える。

## 4. 考察

上記の水位予測結果を踏まえ、以下に考察を述べる。

### (1) 構成因子の組み合わせ

NNMは予測対象とより関係性の強い構成因子を組み込むことで、予測精度が向上する特徴がある。インドネシアに少雨をもたらす気候変動の発生要因となる地球規模の海面水温をNNMの構成因子に組み込むことにより、全体の予測精度、さらには大規模泥炭火災時のような低水位の予測精度向上に繋がったと考えられる。

### (2) M, Kの選定

NNMを用いた予測を行うにあたり、連続データ数(M)と抽出事例数(K)の選定も重要な操作の一つである。特にKの値を大きくすると、類似度の低い事例も含まれてしまい、予測値が平滑化されて予測精度が低下する。今回、MとKを2~4と小さな値の中で選定したことが、予測精度向上に繋がったと考えられる。

### (3) データベース期間

過去事例を抽出するデータベース期間とした1951年~1999年には、El Niño eventとIOD(positive)の発生に伴い海面水温が大きく変動した年が72年、82年、91年、97年と存在している。特に大規模なEl Niño eventと大規模泥炭火災が発生した97年の事例が含まれていたことが、乾季の少雨・低水位の予測精度向上に繋がったと考えられる。

### (4) 今後の予測精度の向上に向けて

海面水温は大気変動の影響を受けて変動している。大気と海洋の相互作用を理解し、気象学の観点からアプローチすることが予測精度の向上に繋がると考えられる。

また、地上雨量とGPCP雨量の誤差も予測誤差要因と考えられる。これまで著者ら<sup>17)</sup>は補正予測雨量を使用した水位予測の検証を行ってきたが、補正方法は複数存在するため、それらの検証が今後の課題である。

## 5. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- 1) 大規模泥炭火災時には、El Niño eventやIOD(positive)といったインドネシアに少雨をもたらす地球規模の気候変動要因が発生していることがわかった。
- 2) 気候変動要因の影響を考慮するため、NNMに海面水温を組み込むことで雨量・水位予測の予測精度が向上することがわかった。
- 3) 気候変動要因を考慮したことで、リードタイムを3ヶ月に延長した予測を行っても、大規模泥炭火災時のような低水位の予測が可能であることがわかった。

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。

## 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) 工藤俊, 中津川誠 : 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, 土木学会水工学論文集, 第56巻, 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) 小林彩佳, 竹内大輝, 山田朋人 : タイ国チャオプラヤ流域におけるダム湖への流入量と広域海面水温偏差の関係, 土木学会北海道支部, 第71号, B-18, 2015.
- 7) 気象庁HP : <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 8) 海洋研究開発機構HP : <http://www.jamstec.go.jp/j/>
- 9) 気象庁 : 気象観測統計の解説, 2015.3.1.
- 10) Karlsson, M and Yakowits, S.: Nearest-Neighbor Methods for Nonparametric Rainfall-Runoff Forecasting, *Water Resources Research*, Vol.23, No.7, pp.1300-1308, 1987.
- 11) Galeati, G.: A comparison of parametric and non-parametric methods for runoff forecasting, *Hydrological Sciences Journal*, 35, pp.79-94, 1990.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) ドイツ気象局HP : <http://www.dwd.de/>
- 15) 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.
- 16) 近藤純正 : 水環境の気象学, 朝倉書店, 1994.
- 17) 吉田ちあき, 中津川誠, 工藤俊 : 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, 土木学会水工学論文集, 第59巻, 2015.

(2015. 9. 30受付)