

# 東北地方太平洋沖地震に伴う地盤沈下が汽水域 植生に与える影響の分析

ANALYSIS OF THE IMPACT ON ESTUARINE VEGETATION FROM SINKING  
GROUND BY THE 2011 OFF THE PACIFIC COAST OF TOHOKU EARTHQUAKE

遠藤希実<sup>1</sup>・大沼克弘<sup>2</sup>・天野邦彦<sup>3</sup>

Maremi ENDOU, Katsuhiko ONUMA and Kunihiko AMANO

<sup>1</sup>正会員 工修 東北地方整備局酒田河川国道事務所赤川出張所 技術係長  
(元国土技術政策総合研究所環境研究部河川環境研究室 研究官)  
(〒997-0011 山形県鶴岡市宝田2-3-55)

<sup>2</sup>正会員 工修 関東地方整備局 総括防災調整官  
(元国土技術政策総合研究所環境研究部河川環境研究室 主任研究官)  
(〒330-9724 埼玉県さいたま市中央区新都心2-1 さいたま新都心合同庁舎2号館)

<sup>3</sup>正会員 博(工) 中部地方整備局浜松河川国道事務所 事務所長  
(元国土技術政策総合研究所環境研究部 河川環境研究室長)  
(〒430-0811 静岡県浜松市中区名塚町266)

In Tohoku district, riverine estuaries which are located in the pacific coastal area has been induced change in river morphology by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. On the assumption, these environments of riverine estuaries will be formed based on river morphology after the earthquake. So then we focused on estuarine vegetation and analyzed the relationship between their specific height and tidal oscillation in the Kitakami and Naruse rivers. And we estimated vegetation cover area and evaluated the impact of the earthquake on the environments of riverine estuaries. As a result, the impact of the earthquake was showed the difference by river morphology before the earthquake.

**Key Words :** *The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, estuarine vegetation, specific height, GIS.*

## 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本太平洋沖地震(以下、地震という)に伴う地盤沈下や、その後に襲来した津波により、東北地方の太平洋に面する河口域は、河口砂州の流失や高水敷地盤高の低下、河床の深掘れ、または土砂堆積などの地形変化が生じた。それら河川における今後の汽水域環境は、地形変化に追従して生じる流速や波浪といった外力、また、塩水遡上距離や冠水頻度、河床材料といった環境基盤の変化など様々な環境要素の複合的な作用に基づき形成されると考えられる。

地震に伴い河口域が受けた地形変化やその後の変遷については、平尾ら<sup>1)</sup>が鳴瀬川や名取川等の河口砂州を対象にした研究成果を報告しており、各河川の地形変化傾向や海岸構造物の有無等を比較することにより、津波被災後の地形回復には周辺海浜からの土砂供給条件に依存

することを示した。また、汽水域に出現する生物種の変化については、竹門ら<sup>2)</sup>が津波によって形成された住居利用地区の湛水池等を対象に、底生動物のモニタリング調査を実施しており、津波による攪乱後、4ヵ月程度でパイオニア種による生物利用が進んでいることを示し、そのような場所を保全することによって生態系の自律的回復を促進するとともに、生態系サービスに配慮した復興事業が望まれるとしている。

被災した河川においては、迅速な応急復旧の施工ならびに復興計画の立案が求められており、地震後の河道地形に基づき、今後形成される汽水域環境を予測、評価することは、環境に配慮した復興計画を検討するうえで有用であると考えられる。そこで本研究では、河口域の特徴的な景観要素であるとともに、生物生息基盤となる汽水域植生に着目した分析を行うこととし、ヨシ原の消失が確認されている北上川を対象河川とした。分析は地震前の既存調査成果を活用することによって、汽水域植生

の物理環境を定量評価するとともに、それらから得られた知見を地震後の河道地形に適用し、今後形成される汽水域環境を推定することとした。また、その推定結果を基に今後の復旧において環境面で配慮すべき事項や、モニタリング調査等の具体的検討を可能にすることを目的とした。

## 2. 研究方法

### (1) 北上川および鳴瀬川の汽水域環境

本研究では、地震に伴う河道地形や環境基盤の変化により、汽水域植生の大幅な減少が生じたと考えられる北上川と、その比較対象として近傍にある鳴瀬川を解析対象河川とした。

北上川は、幹線流路延長249km、流域面積10,150km<sup>2</sup>の一級河川であり、現在の汽水域は、明治44年から昭和10年にかけて実施された北上川第一期改修によってその原型が形作られている。北上川第一期改修では、柳津地区から飯野川地区（河川距離標15～25km付近）まで開削され、旧北上川から追波川に流路を付け替えるとともに、河道掘削によって追波川の河道幅がなされている<sup>3)</sup>。

汽水域の上流端は、昭和54年に供用された北上大堰（17.2km）により潮止めがなされており、地震前の汽水域環境は、環境省のレッドデータブックにて準絶滅危惧種（NT）に指定されているオオクグ群落河岸水際を中心に自生していたほか、河口域では広いヨシ原が維持されていたことから、環境省による「残したい音の風景100選」に選ばれるなど良好な景観を有していた。

鳴瀬川は、幹線流路延長89km、流域面積1,130km<sup>2</sup>の一級河川であり、汽水域の上流端は、平成2年に供用された鳴瀬堰（4.8km）により潮止めがなされている。鳴瀬川における地震前の汽水域環境は、ハマナス群落やハマニンニク群落といった砂丘植物群落が見られるほか、ヨシ群落、オギ群落が繁茂していた。

### (2) 地震前の植物生育環境に関するデータ解析

#### a) 既存調査成果の整理

汽水域植生の成立については、塩分濃度や冠水水深、波浪、底質、競合種との他感作用など様々な要因が考えられるが、本研究においては、汽水域植生の規定要因として影響が大きいと想定される塩分濃度と冠水水深に着目し、地盤高と潮汐の関係性を整理することで簡易的に解析することとした。

地震前の植物群落と地盤高、潮汐の関係を整理するために、GISを用いて河川横断測量成果の内挿補間を行い、3次元河道地形を作成するとともに植生図と重ね合わせ、植物群落と地盤高の属性情報を10mメッシュで抽出した（表-1）。なお、植物群落の情報について、北上川は河川水辺の国勢調査（河川環境基図作成調査編）に基づく植

表-1 GISデータ諸元

河川名	北上川		鳴瀬川	
解析対象区間	-1.0～17.0km		0.0～5.0km	
年代	地震前	地震後	地震前	地震後
3次元河道地形	2002	2011	2004	2011
植生図	2002	-	2005	-
朔望平均満潮位	T.P. +0.70m			
朔望平均干潮位	T.P. -0.78m			

—北上川2.0k —北上川6.0k —北上川8.0k —北上川14.0k  
—北上川17.0k —朔望平均満潮位 —朔望平均干潮位

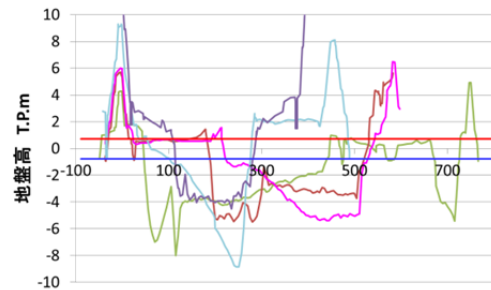


図-1 北上川の河川横断重ね合わせ図

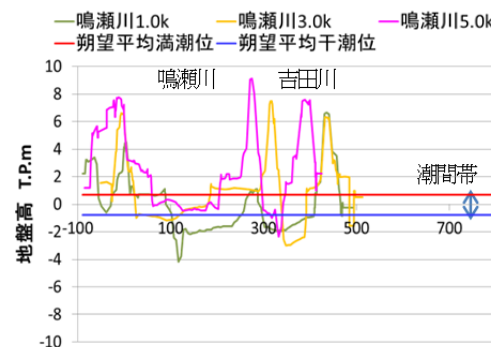


図-2 鳴瀬川の河川横断重ね合わせ図

生群落名まで抽出したが、鳴瀬川については、植生群落名までの詳細な情報が不明であったため、植生基本細分類名までの抽出となった。また、地震後の3次元河道地形は、平成23年3月に実施した河川横断測量成果に対し、地殻変動に伴う水準点補正を行った値を用いている。潮位データは、北上川および鳴瀬川に最も近い鮎川検潮所の1994年～2003年の観測値を基に朔望平均満潮位、朔望平均干潮位を統計し、地震後も統計値の大きな変動はないものとして扱った。

#### b) 植物生育環境に関するデータ解析

10mメッシュで抽出した植物群落と地盤高の属性情報を用いてデータ解析を行った。データ解析にあたり、北上川は、北上川第一期改修による追波川への付け替えにより、飯野川地区付近より上流は人為的な影響が強いと考えられたこと、また、航空写真や河川横断経年変化図からも人為的な影響が示唆されたため、汽水域を北上川汽水域上流区間（9.0～17.0km）と北上川汽水域下流区間（-1.0～9.0km）とに分割した。図-1に2007年に実施した北上川の河川横断測量成果を1つの図面にまとめたものを示す。北上川汽水域下流区間の中州や高水敷が潮間帯に位置するのに対し、北上川汽水域上流区間の高水敷

表-2 ピット調査位置の概要

地震前後での 地盤の変化	2.4km中州	6.4km左岸高水敷
	ピット調査 地点数	
ヨシ→自然裸地	4	3
ヨシ→ヨシ	3	2
塩沼植物→自然裸地	—	3
塩沼植物→ヨシ	—	1

は潮上帯に位置している。また、図-2に2004年に実施した鳴瀬川の河川横断測量成果を1つの図にまとめたものを示す。鳴瀬川は河口に近い1.0km付近を除き全体的に潮上帯に高水敷が位置していること、また、汽水域区間の延長が短いことから単一区間として解析した。

### (3) 北上川における植物環境調査

地震後の北上川においては、地震前にヨシ群落を主体とした植生が生育していた箇所が、広い範囲にわたって自然裸地に变化している事例が見受けられ、ヨシ群落成立の可否については、津波に伴う土砂堆積の影響が考えられた。そこで地震前後で地盤の状態に変化がみられた箇所を主体にピット調査を実施し、津波堆積物の層厚や地盤高、地下茎の状況等の環境基盤の違いが、地震後の植物群落に与える影響について把握した(表-2)。なお、ピット調査は、地震前に広大なヨシ群落を形成していた2.4km中州ならびに6.4km左岸の高水敷において、概ね0.5m四方のコドラートを設定し、2012年3月16日に実施した。また、同時期に植生調査を行い、調査地点での植物群落を確認した。

### (4) ヨシ群落自生可能域の推定

北上川および鳴瀬川に共通し、汽水域にて一般的にみられるヨシ群落を対象に、地震後の河道形状における自生可能域を推定した。ヨシ群落自生域の推定にあたっては、表-3に示す条件にてヨシ群落自生可能域を設定し、地震後の3次元河道地形に適用することで、自生可能域に該当する標高帯を抽出した。

ヨシ群落自生可能域は、ヨシ群落が生え始める地盤高と優占帯に分けて設定しており、ヨシ群落が生え始める地盤高は、栗原<sup>4)</sup>を参考に冠水水深0.5mとなる地盤高とした。また、優占帯については、大沼ら<sup>5)</sup>による解析結果を基に冠水水深0.15m~0.3mとなる地盤高とした。なお、ヨシの生育と冠水水深との関係については、淡水域での調査ではあるものの、田中ら<sup>6)</sup>が冠水水深0.3m以上で茎密度の増加速度が大きく低下する傾向にあることを示しており、大沼ら<sup>5)</sup>の解析結果と整合している。

冠水水深は、河口付近の水位観測所における時間データから、各地盤高の冠水した回数と冠水した際の最大冠水水深を集計し、平均化することにより算出しており、3次元河道地形の測量年に合わせて、北上川は月浜水位観測所(0.0km)の2002年水位、また、鳴瀬川は野蒜水位

表-3 ヨシ群落自生可能域の設定条件

ヨシ群落 自生可能域	冠水水深	北上川	鳴瀬川
優占帯 上限	0.15m	T.P. +0.35m	T.P. +0.48m
優占帯 下限	0.30m	T.P. +0.02m	T.P. +0.11m
生え始め	0.50m	T.P. -0.29m	T.P. -0.23m

観測所(0.5km)の2004年水位を使用した。

## 3. 結果

### (1) 地震前の植物群落と地盤高、潮汐の関係

北上川および鳴瀬川の汽水域区間における植物群落と地盤高、潮汐の関係について図-3に示す。また、図-4は各相対潮汐地盤高においてそれぞれの植物群落が占める面積割合を優占率として表した図である。図-3における相対潮汐地盤高は、大沼ら<sup>5)</sup>による潮間帯における地盤高の位置を表す指標であり、[地盤高-朔望平均干潮位] ÷ [朔望平均満潮位-朔望平均干潮位] によって求まる。また、累積メッシュ率は、解析対象区間の10メッシュ数合計値に対し、各相対潮汐地盤高に該当する10メッシュ数が占める割合を累積したものである。なお、地震に伴う平均的な地盤沈下量は、北上川汽水域区間では約0.8mであり、鳴瀬川汽水域区間では約0.5mであった。

#### a) 北上川における植物群落と地盤高、潮汐の関係

北上川汽水域下流区間における地震前の累積メッシュ率は、相対潮汐地盤高0.5~1.0においてグラフの勾配が緩くなっており、潮間帯に位置する地盤高が多いことを意味している。ヨシ群落の10mメッシュ数は、相対潮汐地盤高0.45から急激に増加をはじめ、0.65にてピークをむかえ約86%の優占率となったものの、相対潮汐地盤高が上がるに従い減少している。なお、相対潮汐地盤高0.45は冠水水深0.38m、0.65は0.21mであり、ヨシ群落自生可能域で設定した条件(表-3)と整合している。一方、オオクグ群落は、相対潮汐地盤高0.65から急激に増加をはじめ、0.75にてピークをむかえたのち、0.8~1.15にかけて優占率が20%以上になっている。また、オギ群落は相対潮汐地盤高0.95から増加し始める代わりにヨシ群落、オオクグ群落が急激に減少している。ヤナギ群落の10メッシュ数は、各相対潮汐地盤高に出現するタチヤナギ群落、シロヤナギ群落等の各種ヤナギ群落を総計しても最大32メッシュでありほとんど出現しない。

北上川汽水域上流区間における地震前の累積メッシュ率は、相対潮汐地盤高1.5~2.0においてグラフの勾配が緩く、朔望平均満潮位でも冠水しない地盤高が多いことを意味している。相対潮汐地盤高1.5~2.0では、オオクグ群落はほとんど出現せず、1.5にてヨシ群落、オギ群落、ヤナギ群落が急激に増加するなど同様の増減傾向がみられる。

#### b) 鳴瀬川における植物群落と地盤高、潮汐の関係

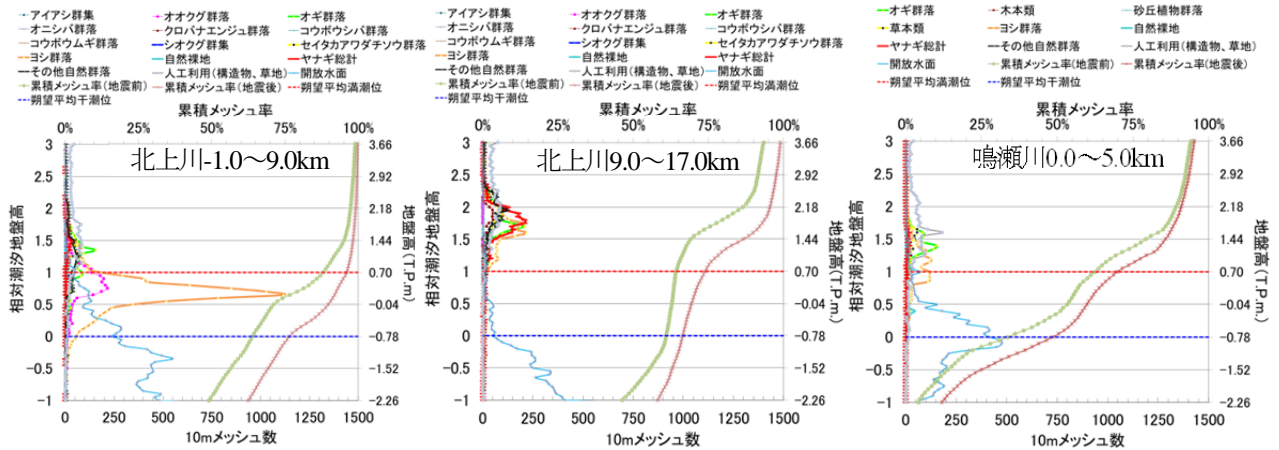


図-3 北上川および鳴瀬川の汽水域区間における植物群落と地盤高，潮汐の関係

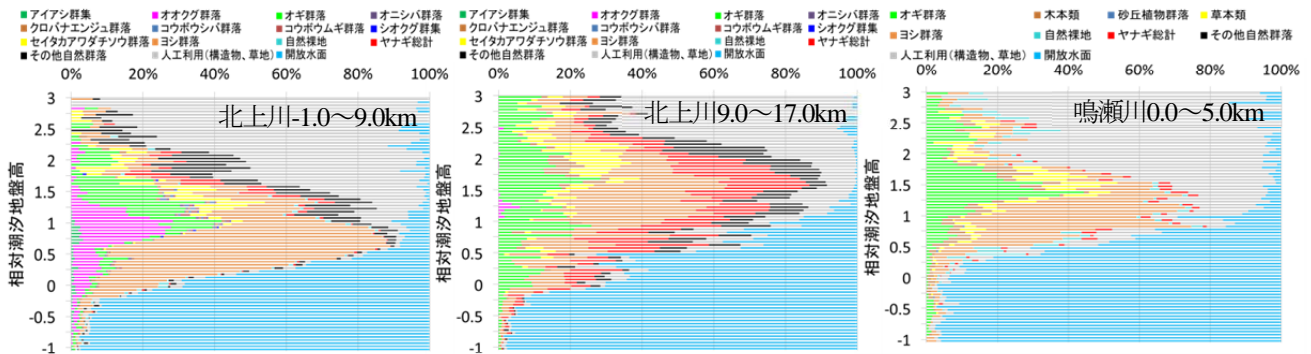


図-4 北上川および鳴瀬川の汽水域区間における各相対潮汐地盤高での植物群落の優占率

鳴瀬川汽水域区間の累積メッシュ率は、相対潮汐地盤高-0.15~0.5と1.2~1.65にてグラフの勾配が緩く、平均潮位以下、ならびに潮上帯に位置する地盤高が多いことを意味する。ヨシ群落は相対潮汐地盤高0.85~1.3にて平均67%の優占率となっており、相対潮汐地盤高0.85は、冠水水深0.15mであり、ヨシ群落自生可能域の優占帯上限と同程度の地盤高になっている。また、オギ群落は相対潮汐地盤高1.25から増加を始め、オギ群落の10mメッシュ数が増加するに従い、ヨシ群落の10mメッシュ数が減少している。

## (2) 北上川での津波堆積物と地被の変化状況

図-5にピット調査結果を基に、地震前後での地被の変化状況と地盤高、津波堆積厚について整理したものを示す。津波堆積厚については、地表下面に埋没したヨシ群落の倒伏位置や津波堆積物に特徴的な堆積構造<sup>7)</sup>から判断した。津波堆積厚は0~40cmと調査地点によって異なり、地震前の高水敷において低平地や窪地となっていた箇所には厚く堆積する傾向にあった。また、ピット調査では現在生育している植物群落を同定するほか、ヨシ群落地下茎の生育状況も確認しており、2012年3月時点の地被が自然裸地でも、地下茎に新芽が確認される調査地点があった(図中●)。なお、図-5において、朔望平均満潮位以下のプロットが2.4km中州付近のデータであり、それ以外は全て6.4km右岸高水敷のデータとなっている。

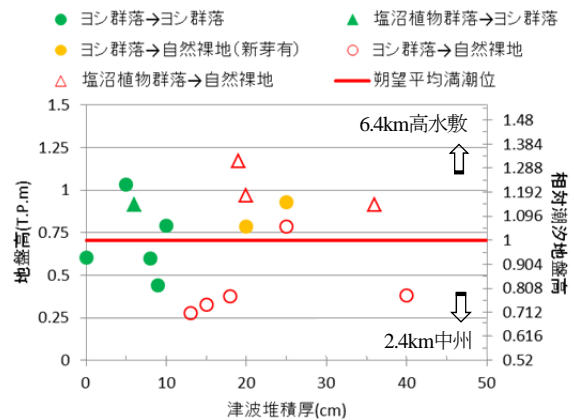


図-5 地被の変化と地盤高，津波堆積厚の関係

## (3) ヨシ群落自生可能域の推定

### a) 北上川におけるヨシ群落自生可能域の推定

図-6は、2011年5月に撮影した航空写真に、表-3の条件および地震後の3次元河道地形を用いて推定したヨシ群落自生可能域を重ね合わせたものである。なお、ヨシ群落自生可能域は、ヨシ群落の生え始めから優占帯下限に位置する標高帯(図中■)，優占帯(図中■)に分けて表している。

北上川汽水域下流区間のヨシ群落自生可能域は、地震後においても5.8kmより上流はヨシ群落が生え始める地盤高より高くなっている。しかし、5.8kmより下流は、地盤沈下や津波に伴う地形改変により、一部の微高地を除きヨシ群落が生え始める地盤高より低くなっている。また、北上川汽水域上流区間については、地震後の河道

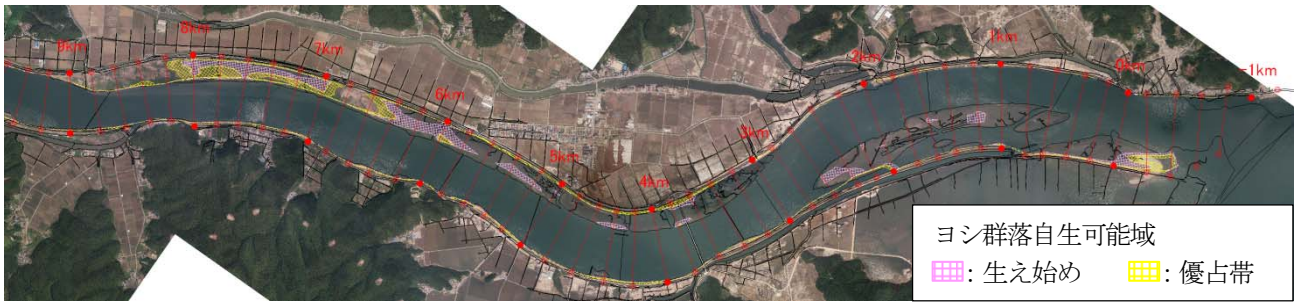


図-6 北上川のヨシ群落自生可能域

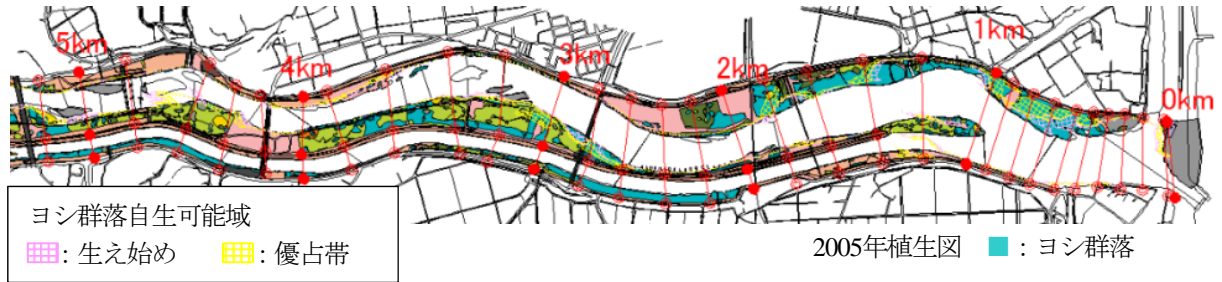


図-7 鳴瀬川のヨシ群落自生可能域

形状においても地盤高がヨシ群落の優占帯よりも全体的に高く、ヨシ群落自生可能域にほとんど該当しないため、図-6では割愛している。

#### b) 鳴瀬川におけるヨシ群落自生可能域の推定

図-7は、2005年に作成した植生図に、北上川と同様の手法を用いて推定したヨシ群落自生可能域を重ね合わせたものである。

ヨシ群落自生可能域は、0.3～1.0kmでは2005年植生図のヨシ群落(図中■)とほぼ一致している。また、1.0～2.0km、3.0～4.0kmでは、ヨシ群落自生可能域が2005年のヨシ群落よりも小さいが、これは地震前の地盤高が高く、北上川汽水域上流区間と同様に地震後の河道形状においてもヨシ群落優占可能域に該当する標高が少ないためである。

## 4. 考察

### (1) 地震前の植物生育環境

#### a) 北上川における植物生育環境

地震前の北上川汽水域下流区間(-1.0～9.0km)は、ヨシ群落およびオオクグ群落を主体とした塩沼植物群落が優占し、地盤高が朔望平均満潮位付近からオギ群落が優占し始めていた(図-4)。また、汽水域下流区間の中州や高水敷は、その多くの面積が潮間帯に位置していたことから、汽水域下流区間の植物群落は、潮汐による冠水や河川水中の塩分条件に強い影響を受けていることが示唆された(図-3)。一方、地震後の河道地形は、地盤沈下に伴い相対潮汐地盤高が0.0～0.3程度と低い位置に多くの面積を持つ(図-3)。相対潮汐地盤高0.3での冠水水深は0.52mとなることから、汽水域下流区間では地盤沈下がヨシ群落の成立に与える影響が大きいと考えられた。

北上川汽水域上流区間(9.0～17.0km)は、地震前後において高水敷の地盤高が高く、潮汐の影響を受けにくいと考えられる。また、塩分の影響が少ないことから、ヨシ群落やオギ群落に加え、汽水域下流区間では見られないヤナギ群落が優占しており、種間競争により植物群落が成立していることが考えられた(図-3)。種間競争については、経年的な植生遷移や各植物群落の環境条件について詳細な解析が必要であるが、本研究では対象としないため今後の課題である。

#### b) 鳴瀬川における植物生育環境

鳴瀬川汽水域区間は、地震前後において潮間帯に位置する広い面積があるものの、相対潮汐地盤高が0.4以下となる地盤高に多い(図-3)。相対潮汐地盤高0.4では、冠水水深が0.47mとなり、ヨシ群落が優占すると考えられる地盤高0.5mと同程度になるため、大規模なヨシ群落を形成することは困難であると考えられた。

### (2) 津波堆積厚とヨシ群落の再生産

北上川汽水域下流区間に位置する6.4km右岸高水敷は、2.4km中州に比べて地盤高が高く、ヨシ群落自生可能域に入っているが、現地調査では河岸水際の微高地を除き、自然裸地が広がっていたことから、ヨシ群落の成否については、地盤高と潮汐との位置関係のほか、津波堆積物による被覆の影響が考えられた。被覆の影響については、津波堆積厚とヨシ群落の成否について関係性が見受けられ、津波堆積厚が10cm未満の地点では、埋没した地下茎から新芽が伸長し、ヨシ群落が再生産されることが示唆された(図-5)。また、6.4km右岸高水敷では、津波堆積厚が25cmとなり、自然裸地が形成されている地点であっても、地下茎に新芽が出ている事例が確認された。一方、2.4km中州において、地震前後にヨシ群落から自然裸地に変化した地点については、津波堆積厚が10cm

以上の地点では、地下茎に新芽を確認することができなかつた(図-5)。両者の違いは、6.4km右岸高水敷における調査地点の地盤高が、2.4km中州の調査地点の地盤高よりも高いことから、地盤高と潮汐の位置関係に起因すると考えた。しかし、2.4km中州のピット調査地点は、相対潮汐地盤高0.7以上であり、ヨシ群落の生育環境として問題ないため、地盤高と潮汐の位置関係では説明ができなかつた。

### (3) 地盤沈下がヨシ群落に与える影響

#### a) 北上川のヨシ群落に与える影響

ヨシ群落自生可能域の推定結果では、北上川汽水域上流区間(9.0~17.0km)は地震後も潮間帯にかかる地盤高が少なく、地盤沈下によるヨシ群落への影響が少ないと想定された。また、北上川汽水域下流区間では、地震前の高水敷地盤高に応じて縦断的に影響度合いが異なることが示唆された。特に河口側の-1.0~5.8kmではヨシ群落自生可能域が著しく減少し、地震後の河道地形にてヨシ群落を自然に回復させることは難しいと考えられた。また、5.8~9.0kmは、全体的にヨシ群落自生可能域に入っているが、現地にて地盤を確認したところ、河岸水際の微高地にヨシ群落が生育していたものの、その後背地に自然裸地を持つことが多かつた。これはピット調査の結果からも津波堆積物により形成された自然裸地であることが示唆された。5.8~9.0kmの自然裸地については、ヨシ群落自生可能域の推定結果から、高水敷の地盤高としては、ヨシ群落形成の必要条件を満たしていると考えられる(図-6)。また、ピット調査の結果から、津波堆積厚が厚くても地下茎に新芽が確認される事例もあることから、時間の経過に伴いヨシ群落が再生産することが期待できる(図-5)。このため、5.8~9.0kmの自然裸地については、ヨシ群落の拡大・縮小傾向を捉えながら、必要に応じて底質調査を行うなど順応的なモニタリング調査が適していると考えられた。一方、-1.0~5.8kmの自然裸地については、ヨシ群落自生可能域に該当する地盤高が少ないことから、ヨシ原の再生を目標とした場合、高水敷への土砂堆積など地形変化に着目した調査を実施する必要性が高いと考えられる。また、河口に近く、波浪による浸食が考えられること、さらに2.4km中州のピット調査地点では、ピット調査時に6.4km右岸高水敷の調査地点に比べ、硫化水素の臭気が強く、より還元的な土壌環境になっていると想定されたことなどから、ヨシ群落の生育に関して複合的な影響が懸念されたため、5.8~9.0km区間に比べ、多種のモニタリング調査が必要になると考えられる。

#### b) 鳴瀬川のヨシ群落に与える影響

鳴瀬川においては、地盤沈下量が約0.5mと北上川の約0.8mに比べて小さかつたこともあるが、地震後の河道地形においても高水敷の地盤高が、全体的に朔望平均満潮位より高く、ヨシ群落への影響は小さいと考えられた

(図-7)。ただし、朔望平均満潮位以上に生育する植生については、オギ群落やヤナギ群落などとの種間競争によってヨシ群落が成立していると考えられ、その規定要因の検討については、今後の課題となっている。

## 5. まとめ

本研究にて得られた主要な成果を以下に記す。

- 地震前の既存資料を解析することにより、各河川の植物生育環境を明らかにした。
- 地震後の河道地形を基にヨシ群落の自生可能域を推定することにより、北上川汽水域のうち、-1.0~5.8kmはヨシ群落の生育に適した土地が著しく減少していることが判った。
- 生物の自生可能域を推定することにより、各河川が受けた影響を抽出し、影響要因に応じたモニタリング計画の検討に資することができる。

**謝辞:** 本研究の実施にあたり、東北地方整備局北上川下流河川事務所より現地調査の調整や既存資料の提供などご協力いただいた。また、データ整理については、いであ(株) 早坂裕幸氏、現地調査の実施については、日本工営(株) 今村史子氏にご協力いただいた。記して感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 平尾隆太郎, 田中仁, 梅田信, NGUYEN Xuan Tinh, Eko PARADJOKO, 真野明, 有働恵子: 東日本大震災津波後の河口地形変化の特徴と問題点, 水工学論文集, 第56巻, pp.1735-1740, 2012.
- 2) 竹門康弘, 八重樫咲子, 木村達夫: 名取川下流と海岸の淡水・汽水域生態系の現状と課題, 京大防災研究所東日本大震災特別緊急共同研究報告会, pp.99-106, 2012.
- 3) 国土交通省東北地方整備局: 治水事業の経緯, 北上川水系河川整備基本方針, pp.4, 2006.
- 4) 栗原康編著: 河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー, 東海大学出版会, pp.142, 1988.
- 5) 大沼克弘, 遠藤希実, 天野邦彦, 岸田弘之: 河川汽水域沿岸の植生分布と潮位の関係解析, 水工学論文集, 第55巻, pp.1345-1350, 2011.
- 6) 田中周平, 藤井滋穂, 山田淳, 市来敦之: ヨシ生育に及ぼす水位および地盤変化の影響, 水環境学会誌, 第24巻第10号, pp.667-672, 2001.
- 7) 鎌滝孝信, 澤井祐紀, 宍倉正展, 佐竹健治, 山口正秋, 松本弾: 潮間帯における津波堆積物の分布様式: 北海道東部, 藻散布沼の例, 活断層・古地震研究報告, No4, pp.31-43, 2004.



