

平成 21 年 6 月 3 日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19405027
 研究課題名（和文） ミシシッピ湿地林のハリケーン災害に関する生態学的、生理学的、年輪年代学的研究

研究課題名（英文） Ecological, physiological and dendrochronological studies on hurricane disasters in Mississippi wetland forests.

研究代表者

山本福壽 (YAMAMOTO FUKUJU)
 鳥取大学・農学部・教授
 研究者番号：60112322

研究成果の概要：巨大ハリケーンがミシシッピ湿地林にもたらした災害の実態解明を目的とし、森林破壊・衰退の広域観測、樹木の成長・更新の調査、および樹木の生理的特性の解析を行った。この結果、衛星画像より、直接、間接被害地域、急速な回復地域を推定した。また年輪年代学的解析によりハリケーン後の樹木の急激な成長減退を認めた。さらに侵入種ナンキンハゼは耐水、耐塩性とも、在来種に拮抗することをわかり、植生変化の可能性を示唆した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
2008 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
年度			
年度			
年度			
総計	9,900,000	2,970,000	12,870,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：林学・林学・森林工学

キーワード：ハリケーン、湿地林、画像解析、NDVI、LSWI、年輪年代学、ヌマスギ、ナンキンハゼ

1. 研究開始当初の背景

2005 年、巨大ハリケーン・カトリーナがアメリカ南部のメキシコ湾岸に襲来し、ミシシッピデルタの低湿地に位置する地域を長期間にわたって高塩濃度の海水によって冠水させた。この地域への生態的な被害が甚大であったことから、本研究を企画した。

2. 研究の目的

ハリケーンの生態的な後遺症を正確に診断するには、長期にわたる広域観測と生態的な森林破壊・衰退、さらには植生の更新に関する現地調査や基礎データ収集が不可欠と考えた。さらにこのような調査データと比較しながら、過去に形成された木部の年輪年代学的な解析を行

い、ハリケーン襲来や気象の変遷が樹木の成長に与えた影響を明らかにすることは大きな意義がある。そこで本計画では、以下の 3 課題についての研究を行うことにした。

(1) 画像解析法によるミシシッピ氾濫原に生じた生態的被害と後遺症の広域調査、および氾濫原の森林における被害、後遺症、および衰退の生態学的現地調査

(2) ヌマスギ生残木樹幹に残る過去のハリケーン襲来の影響の年輪年代学的解析

(3) 高塩濃度冠水がヌマスギ林の更新と幼稚樹の生育に及ぼす影響の実験的解析

3. 研究の方法

(1) 画像解析法によるミシシッピ氾濫原に生じ

た生態的被害と後遺症の広域調査、および氾濫原の森林における被害、後遺症、および衰退の生態学的現地調査

【研究対象地】: 研究対象地はアメリカ合衆国ミシシッピ州南部・ルイジアナ州南西部で、対象地域面積は 12,576km²、標高は-2.5~122m であり、南部は標高 5m 未満の地域が大半を占めている。南部にミシシッピ河が流れ、中央にポンチャートレイン湖、東にメキシコ湾にという位置関係からハリケーン被災時には暴風による被害だけでなく高潮や洪水によって甚大な被害を被った地域である。

【使用したデータ】

調査・解析に 12 時期 LandsatTM 衛星画像と被災前後の航空機 LiDAR データ(2002 年 2 月、2006 年 2 月取得)を使用した。森林範囲での切り出しには USGS が 2001 年に作成した土地被覆図を使用した。

【研究方法】

①データの整備: 12 時期 LandsatTM 衛星画像の位置誤差の修正のため幾何補正を行い、次に雲と影の範囲を切り取った。

②衛星画像からの被害・再生状況の把握: 12 時期 LandsatTM 画像から植生の活性度を示す NDVI (Normalized Differential Vegetation Index) と地表面の水による被覆を示す LSWI (Land Surface Water Index) を算出し、直接被害地域・間接被害地域・草本回復地域の推定を行った。

直接被害地域とは、被災前後で NDVI が大幅に低下している、すなわち植物活性度が大きく低下した地域と定義し、ハリケーン被災 1 週間前 (2005/8/22) と 1 週間後 (2005/9/7) の NDVI の差分から求めた。

間接被害地域とは、被災後 1 ヶ月以上経過しても地表面の水が引かず、かつ植生活性度が低下している地域と定義し、被災後の 3 時期 (2005/9/7, 10/9, 10/25) の NDVI と LSWI の低下のピークを求めてマトリックス解析を行い、低下のピークの時期と NDVI と LSWI のピークのズレから求めた。

草本再生地域とは、被災後 2 年間で植生の回復速度が速い地域を抽出した地域であり、被災 40 日後 (2005/10/9) と被災 2 年 1 ヶ月後 (2007/9/27) の NDVI の差分を求め、森林範囲で切り出して求めた。

③オブジェクトベース分類による木本植生消失地域の抽出: 被災前後の LiDAR データの差分を求め、地表被覆物の標高を表す DSM (Digital Surface Model) の値が被災前よりも大幅に低下した地域を抽出し、航空写真の判読も加味して木本植生消失地域と判断し、分類に用いる教師として選定した。この教師を用いて、森林範囲で切り出した被災 40 日後 (10/9) の LandsatTM 画

像のオブジェクトベース分類を行った。

④森林の被害・回復状況の把握とマップ化: 森林の被害・回復状況の把握のため、被害状況と回復状況を重ね合わせマップ化した。

(2) ヌマスギ生残木樹幹に残る過去のハリケーン来襲の影響の年輪年代学的解析

ヌマスギ個体を選定し、樹高、胸高直径、位置、冠水の痕跡、土壌の電気伝導度、酸化還元電位などの計測を行ったのち、成長錐を用いて木部のコアを採取した。採取したコアは日本に持ち帰り、New Orleans 市近郊における過去のハリケーン来襲記録と比較しながら年輪年代学的計測を行った。過去において、ハリケーンの影響が認められる年輪については、組織の顕微鏡観察用切片を作成し、細胞レベルでの観察を行った。

(3) 高塩濃度冠水がヌマスギ林の更新と幼稚樹の生育に及ぼす影響の実験的解析

①ヌマスギ林に対する海水侵入を想定。鳥取大学において、苗木を用いた高塩濃度の水による冠水(水没)が生存、生理、成長に及ぼす影響を解析した。これにより、ヌマスギ稚幼樹の生存と森林の更新に及ぼす海水進入の影響を検証した。

②被害を受けた森林の更新と外来種侵入・定着および植生変化の可能性を検証するため、在来種のヌマスギ、侵入種のナンキンハゼ、センダン若木を用いて生理的なモデル実験を行い、光合成や蒸散、植物体内のイオン分析など、耐水性、耐塩性に関わる生理的特性を比較検討した。

4. 研究成果

(1) 画像解析法によるミシシッピ氾濫原に生じた生態的被害と後遺症の広域調査、および氾濫原の森林における被害、後遺症、および衰退の生態学的現地調査

①データの幾何補正精度結果: USGS から取得した道路ラインデータを用いて、12 時期の LandsatTM 画像を幾何補正した結果、RMS エラー値は 0.152~0.309 であった。これは最大で 0.309ピクセルのずれ、すなわち 9.27m のずれがあることを表すが、LandsatTM 画像の 1ピクセルは 30m であることから、許容できる誤差であると判断した。

②衛星画像からの被害・再生状況の把握: 森林タイプ別の 12 時期の NDVI の変動を示すデータから、すべての森林タイプが 2~3 月の前半に低下のピークを迎え、4~8 月の間に最も高くなることと、被災直前と直後の NDVI の変動を比較すると、他の森林に比べて常緑樹林ではハリケーンによる影響が少ないことがわかった。

・直接被害地域: 被災 1 週間前よりも NDVI が低下した地域を直接被害地域として推定した。特

に NDVI の低下が著しい地域はハリケーンの進路上と標高の低い地域に多く見られ、森林タイプ別に面積集計を行った結果、木本湿地で被害が多く見られた。この地域では風倒や先折れ被害、落葉被害が予想される。

・間接被害地域：間接被害地域は被災直後(2005/9/7)に NDVI の大幅な低下は見られないが被災 40 日後に低下が見られ、さらに LSWI が 40 日以上経過してから低下し始めた地域を間接被害地域と推定した。この地域はハリケーンの進路からは離れているが標高の低い地域に多く見られることから、被災直後の植生の被害は少なかったが、高潮や洪水による水が引かないことによる影響を受けたことが予想される。一方、被災直後に NDVI の大幅な低下が見られ、かつ LSWI が 40 日以上経過してから低下し始めた地域を直接+間接被害地域と推定した。この地域は直接被害も受けていて、その後も 40 日以上水が引かず塩水による影響を受けたことが予想される地域である。

・草本回復地域：草本回復地域は被災 2 年 1 ヶ月後の NDVI の値が被災 1 月後に比べて 0.35 (1/2 標準偏差を参考) 以上上昇した地域を抽出した。この地域では、被災後に急速な NDVI の上昇が見られることから草本による植生回復が進んでいると予想される。在来植物による回復であれば問題は少ないが、現地踏査では外来植物による植生の回復が多く見られたので適切な管理が必要な地域であると考えられる。

③オブジェクトベース分類による木本植生消失地域の抽出

区分したい林相境界が抽出できるように Scale Parameter を 20 に設定し、79,263 個のオブジェクトを生成した。次に、被災 40 日後の衛星画像を用いて、被災前後 LiDAR データの差分と航空写真から選定した木本植生消失地域 30 箇所からトレーニングサンプルを取得して分類を行った。その結果、被災による影響を受けた地域だけでなく、被災前から伐採跡地であった地域も木本植生消失地域と分類された。そこで、被災 1 週間前の衛星画像を用いて伐採跡地を分類して被災 40 日後の分類結果との差分を取り、被災による木本植生消失地域マップを作成した。その結果、調査範囲の全森林面積の 1.2% に相当する 7,529ha が木本植生消失地域に分類された。衛星画像や航空写真で検証を行ったところ、若い植林地や植林地の周辺、木本湿地で風倒などにより木本植生が消失していることがわかった。

④森林の被害と回復状況の把握とマップ化

直接被害地域マップ、間接被害地域マップ、草本回復地域マップ、木本植生消失地域マップを重ね合わせて被害・再生マップを作成した(図

1)。被害・再生状況を重ね合わせて見ることによって、直接被害地域と木本植生消失地域で草本による急速な回復が見られることがわかった。

【結論】本研究では時系列リモートセンシング画像を用いて、広範囲に広がる森林の被害地域・再生状況を効率的に把握することを試みた。その結果、ハリケーン被災直前と直後の NDVI の差分を取ることで風倒や先折れによると予想される直接被害地域を推定することができた。また、被災直後 3 時期の衛星画像から植物活性度を表す NDVI と地表面の水分量を表す LSWI を用いることで、塩水が長時間停滞し植生に影響を与えたと予想される間接被害地域を推定することができた。さらに、森林範囲で切り取った画像で被災後 2 年間の NDVI の増加量を求めることで草本による急速な回復地域を推定することが出来た。これらの解析手法を用いることで効率的に森林被害地域と再生状況を把握でき、森林管理や環境保全の側面的な支援に役立つと考える。

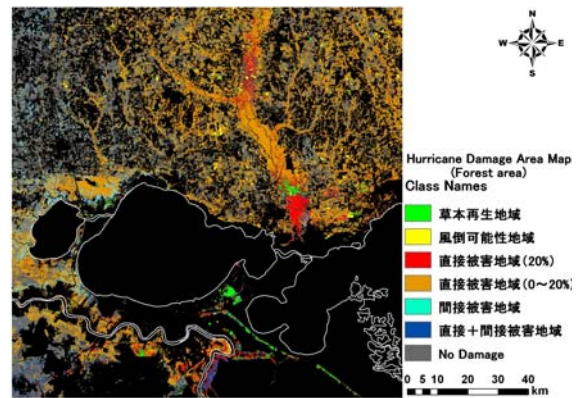


図 1 ハリケーン被災林の被害と再生マップ

(2)ヌマスギ生残木樹幹に残る過去のハリケーン来襲の影響の年輪年代学的解析

ハリケーン・カトリーナが New Orleans を通過した 2005 年の成長幅は、サンプルによる違いはあるが概して減少している。しかし、成長減少の割合は個体差が大きい。樹齢の高い T1(図 2)の成長幅減少の割合が最も高く、樹齢の低い T3 の成長幅減少の割合は低い。このため、樹齢の高いヌマスギほどハリケーン・カトリーナによって成長が抑制されたと考えられる。

サンプルを採取した 2007 年以前にルイジアナ州もしくはミシシッピを通過したハリケーンのヌマスギへの成長量の増減を見ると、1977 年(Babe)、1956 年(Flossy)では4個体全てでハリケーン後に成長量減少しており、また 2005 年(Rita, Katrina, Cindy)、1992 年(Andrew)、1988 年(Florence)、1979 年(Frederic)、1969 年(Camille)、1964 年(Hilda)、1960 年(Ethel)では4個体中3個体で成長量が減少している。これら

のハリケーンは Ethel (1960) を除いてすべて New Orleans 上を通過、もしくはハリケーンが New Orleans の半径 500km 圏内に接近した際にハリケーン中心から見た New Orleans の位置が右側のものを含んでいる年である。

Georges (1998)、Florence (1988) において New Orleans に最接近時のハリケーンの中心気圧は Florence (1988) の方が Georges (1998) よりも高く、前者では Category 1 tropical storm に対して、後者では Category 2 hurricane である。しかし、成長量の増減を見ると、前者の方が減少している個体が多い(4個体中3個体が減少)。その理由は上記と同様にハリケーン中心から見た New Orleans の位置が右側の方が左側よりも成長への影響が大きいためと考えられる。また Elena (1985)、Carmen (1974)、Betsy (1965) は全て Category 3 であるがハリケーンの中心位置が左側だったために成長幅の減少は 4 個体中 2 個体にしか見られていない。

Danny (1997) は 7 月にルイジアナ州に上陸し、Edith (1971) は 9 月に上陸した。両者は共に New Orleans の遠くを通過し、ハリケーン中心位置は左側となっている。この 2 つの年の成長量の減少は 4 個体中 2 個体にみられた。また、Florence (1988) は 9 月にルイジアナ州に上陸し、Hilda (1964) は 10 月に上陸した。両者は共に New Orleans の近くを通過し、ハリケーン中心位置は右側となっている。この 2 つの年の成長量の減少は 4 個体中 3 個体にみられた。これらのことから、ハリケーンの上陸した月と成長量の増減には関係性は薄いと思われる。

これらの結果から、ハリケーンのスダスギへの成長幅の減少はハリケーン的最接近位置が New Orleans 上を通過もしくは New Orleans の半径 500km 圏内に接近した際にハリケーン中心から見て New Orleans の位置が右側のハリケーンを含んでいる年に見られると考えられる。また、ハリケーンの Category や気圧、ハリケーンが上陸した月との関係性は薄いと思われる。

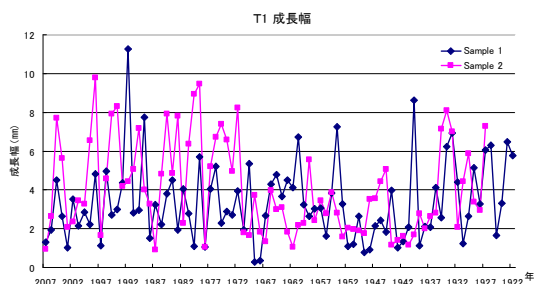


図 2 スダスギ T1 個体の年輪解析

(3) 高塩濃度冠水がスダスギ林の更新と幼稚樹の生育に及ぼす影響の実験的解析

①スダスギ(*Taxodium distichum*)実生苗の塩耐性における土壌冠水順化の影響 -ミシシッピ下流湿地林におけるハリケーン「カトリーナ」被害に関連して-

アメリカ南東部沿岸域では、海水の侵入と塩の土壌集積による沿岸植生および河川下流域湿地林への影響が危惧されている。2005 年には、大型ハリケーンの通過にともなう高潮による海水浸入や強風による塩の飛散によって、ミシシッピ下流域に成立する湿地林に甚大な被害がもたらされた。しかしながら、土壌冠水をともなう土壌塩濃度の上昇が湿地林構成樹木におよぼす影響についての研究情報は極めて乏しい。本研究では、冠水前歴の異なるスダスギ(*Taxodium distichum*) 苗木を短期間、塩水中に沈水(水没)させ、排水後の生理、成長、および残留塩濃度についての解析を行った。

(材料と方法): 実験は鳥取大学農学部附属フィールドサイエンスセンター内苗畑にて、2007 年 5 月 3 日から 8 月 28 日にかけて行った。スダスギ 3 年生実生ポット苗をポット土壌面まで淡水によって冠水させた冠水処理区(F)と非冠水処理区(UF)に分け、約 9 週間育成した。その後、それぞれの前処理区から同数の苗木を取りわけ、シュートの先端まで沈水させた。2週間後に再び取り出し、淡水による冠水条件下で 6 週間育成した。それぞれの沈水処理区では、0 ppm (S0)、4000 ppm (S4000)、および 8000 ppm (S8000) の 3 段階に塩濃度を設定した。また沈水処理を行わずそのまま通常の灌水管理によって育成したものを対照区(US)とした。各処理区の繰返しは 8 個体とした。測定項目として、沈水処理終了後の伸長および肥大成長、光合成、蒸散速度、器官別乾燥重量の測定、樹幹基部の組織観察、および陽イオン分析(Na, K, Ca, Mg)を行った。

(結果): 沈水処理開始前の段階で土壌冠水区(F)と非冠水区(UF)の間で、伸長・肥大成長量、総乾重量に有意な差は認められず、すべての実験期間を終了した後も、UF 区と F 区の総乾重量と伸長成長における有意な差は認められなかった。また、沈水処理区においては、塩処理による成長および総乾重量の減少は認められたが、UF 区と F 区の間における総乾重量の有意な差は認められなかった。しかしながら UF-S8000 区の葉の Na 含有量は F-S8000 区に比べて顕著に高かった。

②スダスギ(*Taxodium distichum*)実生苗の成長と生理におよぼす塩と沈水の影響 -ミシシッピ下流湿地林におけるハリケーン「カトリーナ」被害に関連して-

アメリカ南東部沿岸では、海水の侵入と塩の集積による沿岸植生および河川下流域湿地林

への影響が危惧されている。2005年には、大型ハリケーンの通過にともなう高潮による海水浸入や強風による塩の飛散によって、ミシシッピ下流域に成立する湿地林に甚大な被害もたらされた。しかしながら、土壌冠水と同時に生じる生育環境の塩濃度上昇が湿地林構成樹種にどのような影響をおよぼすかについては、ほとんど研究が行われていない。そこで本研究では、ミシシッピ下流域に優占し、冠水耐性を有するヌマスギ(*Taxodium distichum*)の生理および成長に対する短期間の塩水による沈水(水没)がおよぼす影響を成長初期、最盛期、および晩期の3期に渡って実験的に解析した。

(材料と方法):2007年、アメリカ南東部湿地林の主要構成樹種であるヌマスギの3年生実生ポット苗を用いて、鳥取大学農学部フィールドサイエンスセンター内の苗畑において実験を行った。苗木は0 ppm(S-0)、4000 ppm(S-4000)、および8000 ppm(S-8000)の異なる濃度の塩水に完全に沈水させた後に取り出し、ポット土壌表面まで冠水したまま生育させた。沈水の処理期間は2週間とし、その後の土壌冠水環境での育成期間は6週間とした。沈水処理での通気、および処理水の交換は行わなかった。また沈水処理を行わずにそのまま野外で生育させたものを対照区(UF:非冠水,SF:冠水)とした。測定項目として、排水後の伸長および肥大成長、光合成、蒸散速度、器官別乾燥重量の測定、樹幹基部の組織観察、および各器官の陽イオン濃度分析(Na, K, Ca, Mg)を行った。以上の処理および測定は異なる3期間(5月:実験1、7月:実験2、9月:実験3)に行った。

(結果):苗木を沈水させず土壌冠水条件において処理区では、実験1,2,3のいずれにおいても成長の抑制および総乾燥重量の減少は認められず、実験2においては対照区よりも高い肥大成長と相対成長率を示した。また実験1では塩水による顕著な落葉が認められず、総乾燥重量も差は認められなかったが、実験2,3ではS-4000において葉の褐変が認められ、S-8000においては落葉と梢端枯れが認められた。総乾燥重量において、S-4000およびS-8000の減少がすべての実験において認められたが、それらS-4000およびS-8000における乾重あたりの相対成長率は実験2,3において顕著であった。これらの結果から、塩水の影響は季節が遅くなるほど著しく、また5月頃では成長へおよぼす影響が少ないことが示された。

③アメリカ南部氾濫源における在来樹種と侵入樹種の冠水耐性および塩耐性の比較

アメリカ南部のミシシッピ河下流域に成立している湿地林は、2005年の大型ハリケーン通過の際に多量の降雨と高潮による冠水のため、根

圏の塩濃度が急激に上昇し、甚大な被害が生じた。メキシコ湾岸地域では水路の改変や海面上昇による沿岸部湿地林の劣化減少が以前から危惧されており、また外来樹種であるナンキンハゼ(*Sapium sebiferum*)やセンダン(*Melia azedarach*)の侵入に伴う植生の変化も懸念されている。本研究においてはミシシッピ河流域の主要な湿地林構成樹種であるヌマスギ(*Taxodium distichum*)と、外来種のナンキンハゼおよびセンダンを研究対象とし、塩水による土壌冠水条件下、あるいは完全な沈水条件下での生育状況について比較検討を行った。

(材料と方法):実験は鳥取大学農学部FSC内のガラス室で2年生のヌマスギ(*Taxodium distichum*)、ナンキンハゼ(*Sapium sebiferum*)、及び1年生のセンダン(*Melia azedarach*)の苗木を用いて以下の2種類の処理を行った。

【処理①】2008/6/11から7/30までの49日間、塩濃度の異なる水槽(0mM、200mM)に土壌冠水させた。

【処理②】2008/6/11から14日間、塩濃度の異なる水槽(0mM、200mM)に苗木全体を沈水させた後、水槽から引き上げ、6/26から7/30までの35日間、土壌冠水条件下で育成した。土壌冠水は沈水処理と同じ塩濃度を維持した処理区と淡水へ移行した処理区の二つを設定した。上記2種の処理を行わず、適宜灌水によって育成した苗木を対照区とした。解析項目は伸長・肥大成長量、器官別乾物成長量、光合成速度、及び各器官の陽イオン濃度である。

(結果):【処理①】SF0区では全樹種、全個体が生き残り、SF200区では全樹種、全個体が枯死した。冠水耐性を持つヌマスギよりナンキンハゼのほうが高い光合成速度を示した。

【処理②】Sub0-SF0区では、センダンは全個体枯死したが、ヌマスギ、ナンキンハゼの全個体は生存し、対照区とほとんど差は無かった。Sub200-SF0区では、引き上げ直後、全樹種の全個体が落葉した。しかし、引き上げから約20日後にヌマスギで1個体、ナンキンハゼで全個体に休眠芽の開芽と葉の展開が確認された。ナンキンハゼの新たに展開した葉の光合成速度は高い値を示した。Sub200-SF200区では全種類、全個体が枯死した。

④冠水したヌマスギ(*Taxodium distichum*)の幹における肥大成長と水位との関連性

冠水した樹木の幹では時に著しい肥大成長の促進が認められ、それには樹皮の肥厚、細胞間隙の増加、通気組織の発達、木部細胞径の増加、細胞分裂の促進による細胞数の増加などが寄与している。ヌマスギ(*T. distichum*)は高い冠水耐性を持ち、冠水条件下では盤根状に発達した幹と膝根を形成する。本実験では3年生

ヌマスギ実生ポット苗を用いて2つの冠水実験を行い、幹部の肥大成長促進と水位との関連性について調べた。

(材料と方法): 実験材料は3年生ヌマスギ実生ポット苗を用い、鳥取大学フィールドサイエンスセンター実験圃場で行った。ヌマスギ実生ポット苗をポット地表面から5cmと25cmまで冠水させ、2008年6/1-7/1の30日間冠水条件下で育成した。全ての個体において、地表から5cmおよび25cmの高さにピンマークを付けた。その後、5cm冠水区および25cm冠水区を二つに分け、(1-1)5cm冠水から25cm冠水へ移行した区、(1-2)終始5cm冠水した区、(3)25cm冠水から5cm冠水へ移行した区、(4)終始25cm冠水した区、および(5)非冠水区(対照区)の5処理区を設定し、7/1-8/1の30日間育成した。各処理区の繰返しは8個体とした。実験終了後、ピンマークを施した幹部を採取、70%エタノールに浸潤、ファストグリーンとサフラニンで染色した後、顕微鏡で木部組織構造の観察を行った。また、長期の冠水が水位付近の肥大成長に及ぼす影響について考察するため、ポット地際から5cm、および70cmまで冠水した条件でおよそ10年したヌマスギ苗木から、20cm毎に円盤を採取し、上記の方法で木部組織構造の観察を行った。

(結果): 長期の冠水は50cmおよび120cm冠水のいずれの処理区においても、冠水水位よりも下方での肥大成長が促進されていた。一方、120cm冠水区で50cm冠水区と比べて伸長成長が抑制されていた。短期の冠水実験では、処理区間における伸長成長およびバイオマスの有意な差は認められなかったが、2ヶ月間同じ水位で冠水した処理による水際部の肥大成長促進が認められた。水位を変化させることで、肥大促進がおこる部位も変化する傾向が認められた。肥大成長の促進された部位では、仮道管径の増加と細胞壁の薄化が認められた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

① Fumiko IWANAGA¹, Takahiro TAKEUCHI¹, Makiko HIRASAWA¹, and Fukuju Yamamoto (2009) Effects of total submergence in salt water on growth and leaf ion content of pre-flooded and unflooded *Taxodium distichum* saplings. Landscape and Ecological Engineering. (in press).

② Fumiko Iwanaga, Kazuo Tanaka, Ikue Nakazato, and Fukuju Yamamoto. (2009). Effects of total submergence on growth and survival of three woody wetland species. New

Forests (in press).

[学会発表](計6件)

- ① 湯谷享泰・岩永史子・長澤良太・Pierce, Samuel・Saunders, Lyndsay・Pezeshki, Reza・山本福壽 2009.3.27 時系列リモートセンシング画像を用いたハリケーン「カトリーナ」による森林植生の被害と回復過程の解析 第120回日本森林学会大会(京都大学)
- ② 岩永史子・高橋裕美・山本福壽 2009. 3.27 冠水したヌマスギ(*Taxodium distichum*)の幹における肥大成長と水位との関連性 第56回日本生態学会大会(岩手県立大学)
- ③ 岩永史子・高橋裕美・山本福壽 2009. 3.27 冠水環境がヌマスギ(*Taxodium distichum*)の形成層活動に及ぼす影響 第120回日本森林学会大会(京都大学)
- ④ 竹内貴裕・高橋裕美・岩永史子・山本福壽 2009. 3.27 アメリカ南部氾濫源における在来樹種と侵入樹種の冠水耐性および塩耐性の比較 第120回日本森林学会大会(京都大学)
- ⑤ 山本福壽・竹内貴裕・平澤麻紀子・岩永史子 2008.3.27 ヌマスギ(*Taxodium distichum*)実生苗の塩耐性における土壌冠水順化の影響 -ミシシッピ下流湿地林におけるハリケーン「カトリーナ」被害に関連して- 第119回日本森林学会大会(東京農工大学)
- ⑥ 岩永史子・平澤麻紀子・竹内貴裕・山本福壽 2008.3.27 ヌマスギ(*Taxodium distichum*)実生苗の成長と生理におよぼす塩と沈水の影響 -ミシシッピ下流湿地林におけるハリケーン「カトリーナ」被害に関連して- 第119回日本森林学会大会(東京農工大学)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 福壽 (YAMAMOTO FUKUJU)

鳥取大学・農学部・教授

研究者番号: 60112322

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

小林 修 (KOBAYASHI OSAMU)

愛媛大学・農学部・講師

研究者番号: 20294788

(4) 研究協力者

ペチエシユキ S. レザ (PEZESHKI S. REZA)

アメリカ合衆国 Tennessee 州立 Memphis 大学・生物学部・教授

研究者番号: なし