

リン酸マグネシウムアンモニウム (MAP) を活用した革新的な堤防維持管理技術の開発

京都府立桂高等学校 地球を守る新技術の開発研究班

1. 序論

日本の河川堤防は、河川法で環境保全を目的として緑化が義務付けられている。堤防緑化の主な植生は、シバやチガヤが中心で行われている。これらの植物は、比較的草丈の低い植物で、根域も浅く維持管理しやすいことから、多くの堤防で植栽されている。しかし、これらの植物は、手入れを怠ると高性植物に遷移しやすいことから除草等の維持管理を行う必要がある。堤防の除草は、陥没や亀裂など異常の早期発見や強度維持のために実施されるため、国土交通省の河川管理費の4割が除草費用である(図1)。

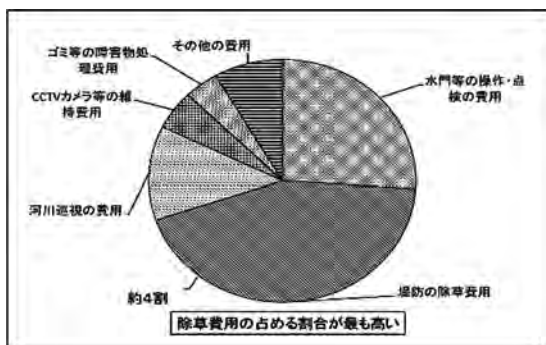


図1 河川維持費工種別内訳

その理由は、環境負荷が高い除草剤が使えず、人為的な作業で除草を行っていることが要因であり、改善方法の研究が今も続けられている。また、日本は近年温暖化等で、河川許容水量が増加傾向にあり、強化のための堤防面積が拡大されており、管理費の増加を抑えるためにも革新的な技術が求められている。

本研究は、2014年から「耐塩性ノシバと塩化マグネシウムを用いた植物遷移抑制」をテーマに研究を行ってきた。国土交通省の許可を得て、宮城県で3年間のモニタリングを行い、塩化マグネシウムが植物遷移を抑制し、除草作業を軽減することは実証できた。しかし、塩化マグネシウムの雑草抑制剤としての使用は、河川水域への生態系への配慮から、積極的な導入は難しいと考えるに至った。そこで、河川ではコストの関係であまり利用されないが塩化物を含む肥料に着目、これを

活用できないかを検討した。しかし、肥料が持つリン酸や窒素は、土壌に溶存し河川に流失すると富栄養化の要因となることから断念せざるを得なかった。2014年に廃棄物処理法が改正され、肥料として認可されたMAPは、水に溶けないく溶性の性質を持ち、塩化マグネシウムでリンとアンモニアを吸着させて結晶化される物質であることから、これを利用して雑草種子発芽抑制と緑化植物の生育促進ができれば革新的な緑化資材になると考え検証を行った。

2. 研究材料と研究方法

○塩化物を用いたノシバの耐性テスト及び雑草種子抑制テスト

海水は3.5%の塩化物と96.5%の真水で構成されている。塩化物の3%は、78%のナトリウム・16%のマグネシウム・6%のカルシウム(カリウム含む)が占めている。塩害はこのナトリウムが引き起こしている。本研究は、河川緑化の中心植物であるノシバの自生地を調査、海岸に自生するノシバが海水によって植物遷移を抑制していることに着目した。そこで、各塩化物を用いて、雑草種子の発芽抑制テストと、ノシバの耐塩性テストを実施し、植物遷移抑制の証明を行った。

2-1 雑草種子発芽抑制テスト

① 研究材料

供試植物:カタバミ、シロツメクサ、スマレ、アメリカフウロ
 ※日本芝緑地に生息する雑草種各100粒
 供試材料:塩化ナトリウム・塩化マグネシウム・塩化カルシウム(融雪剤)

試験方法:プランター(1.8ℓ)、培養土(850g)
 ※対象区を含む4区設置して100粒播種
 各塩化物3%の水溶液を1回灌注して測定
 計測方法:ダイレクトECメーターによる塩分濃度計測及び観察による植物体の状態(計測期間:30日)

② 調査結果

雑草種子の多くは硬実種子で、土中に長期間埋伏し

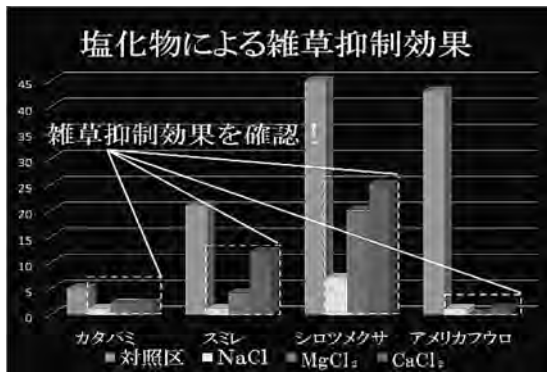


図2 塩化物による雑草抑制効果

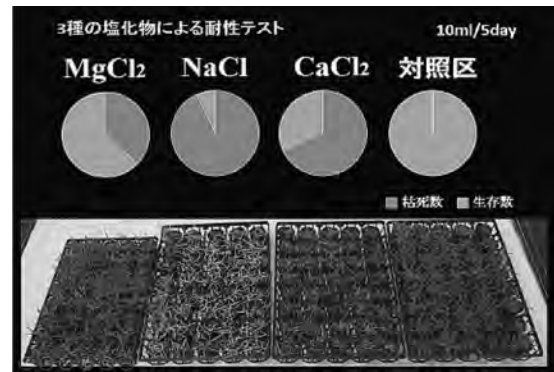


図3 塩化物を用いた耐性テスト

て発芽適期を待つ。シバ緑地の植物遷移は、緑化初期には、土中に含まれる埋伏種子、緑化後は飛来する種子によって遷移が引き起こされる。特に緑化初期に一旦発芽した他植物（雑草）は、取り除いても根が土中に残り、やがて優占種となっていく。各塩化物を用いた雑草種子発芽抑制テストでは、全ての塩化物で発芽抑制が確認することが出来た（図2）。抑制効果は NaCl → MgCl₂ → CaCl₂ の順に効果があった。

2-2 各塩化物を用いた耐性テスト

① 研究材料

供試植物：京都ノシバ種・若草山種・金華山種の3タイプ各100株

※種子繁殖の自生種は、群落で存在し遺伝的にバラエティに富んでおり一株ずつ植えて試験株を製作した（各100株）

供試材料：塩化ナトリウム・塩化マグネシウム・塩化カルシウム

試験方法：ポット（2号）1株植え対象区を含む4区（1区100株）設置。各塩化物を500g/m²濃度の水溶液に換算して5日間連続灌注後、経過観察計測方法：葉の枯死状態を調査（計測期間 30日）

② 調査結果

NaCl区とCaCl₂区においては、80%以上の枯死が確認された。NaCl区は乾燥障害（塩害）と見られる症状が発生し、CaCl₂区は乾燥害に加えてカルシウム過剰摂取による障害の発生が確認できた。また、MgCl₂区は一部の種で50%を示したが、多くの種が30%程度の枯死率であった（図3）。

MgCl₂区の生存率が高かった理由は、マグネシウムは、植物に必要な要素N・P・Kに次ぐ、4番目の必要要素であり、葉緑体の構成元素で植物を活性化させることから過剰障害が出なかったと考えている。また、塩化

マグネシウムに含まれている塩素は1.5m/s～2.5m/sと塩素量が少ないことも要因だと考えている。

本研究は、極端な耐塩試験の結果であるが、海岸部に自生しているノシバ種は耐塩性が高く、常時冠水していなければ、生存できることが判明した。また、海水は雑草抑制の効果があり、海岸部の自生種は植物遷移を抑制していると確認できた。

OMAPを用いた新しい雑草抑制方法の開発

リン酸マグネシウムアンモニウム（MAP）は、全国の下水処理場で汚泥や汚水からリン酸とアンモニアの除去時に発生する鉱物で、有害金属の含有量が少ないこともあり、2014年に廃棄物処理法が改正され、肥料としての販売も可能となった。しかし、MAPはアルカリ性で、成分はアンモニア性窒素が6%、リン酸34%、苦土（マグネシウム）が16%と、肥料としてはバランスが悪い。また、ク溶性（pH 2.0程度溶解する）の性質は、農業への活用には難点があり、ほとんど利用されていない。研究班は、MAP生成時に用いる塩化マグネシウムに着目、この成分を用いて雑草種子の発芽を抑制できないかと考えた。

2-3 MAPでの種子発芽抑制効果の検証

① 研究材料

供試植物：シロツメクサ、カタバミ、スズメノカタビラ、スミレ（各100粒）

供試材料：1.8ℓプランター、培養土（各試験区850g）

※MAP（肥料グリーンマップG）

（成分）アンモニア性窒素6.0%・ク溶性リン酸36%・ク溶性カリ6.0%・ク溶性苦土（Mg）16%

試験方法：塩化マグネシウムの雑草抑制散布量500g/m²を1プランターあたりに換算してMAPを散布して実施。

試験期間：30日～60日

② 研究結果

テストは試験圃場周辺に生える雑草種子4タイプを用いて行った。MAP散布区については全ての雑草種において、発芽抑制効果を得ることができた。また、MAP濃度を変更したテスト(1m²50gと1m²500g換算)でも、シロツメクサとスミレは、MAP肥料の通常の散布量(50g/m²)では、種子発芽抑制の効果が見られず、500g/m²において種子発芽抑制効果が確認できた(図4)。

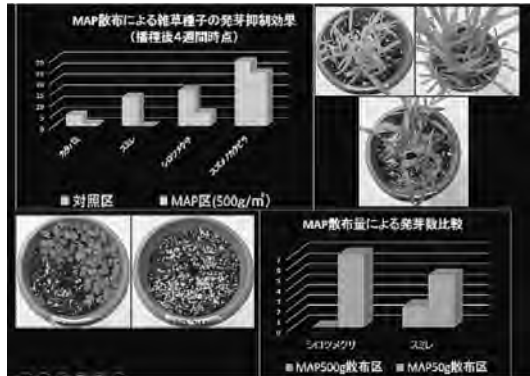


図4 MAP下における雑草抑制効果

2-4 高濃度MAP (500g/m²、1000g/m²) 下におけるノシバへの影響について

① 研究材料及び方法

供試植物:京都種・金華山種

供試材料:3号ポリポット各15・培養土

※MAP(肥料グリーンマップG)

(成分)アンモニア性窒素6.0%・ク溶性リン酸36%・ク溶性カリ6.0%・ク溶性苦土(Mg)16%

試験方法:各シバ種のポリポット15ポットに、500g/m²及び1000g/m²の濃度をポット換算したMAPを散布して状態を計測。

③ 研究結果

MAPの高濃度散布の試験において、高濃度肥料散布による障害の発生もなく、逆に高い肥料効果が確認できた。葉色及び葉長は、対象区と比べて、500g/m²・1000g/m²散布のMAP区は、暗黄色もしくは暗緑色の葉色を示し、肥料効果が顕著に出ている。対象区は、濃黄緑でその差は歴然であった。葉長は、対象区の平均35.5cmに対して、42.2cmと明らかに成長しており、肥料効果が表れている。これは、MAPの高濃度散布下において、生育には影響が出ないどころか、大変優れた肥料であることが判った(図5)。

MAPの高濃度下で植物体に影響が出ないことは、MAPの成分の多くがク溶性で難溶性であり、高濃度



図5 MAP高濃度散布における影響

でも溶出が緩やかであることやノシバは根酸(pH2.1)があり、MAPを根酸によって必要なだけ分解して使用していることが考えられる。また、MAPは河川等の水では溶出しなため、高濃度散布でも極めて環境負荷が少ない素材だと考えられる。

3. 実証試験

MAPで得られた実験結果をもとに、本校の実証試験圃場と宮城県鳴瀬川の河口部及び内陸部の試験圃場で実証試験を実施した。

① 研究材料及び方法

試験圃場:宮城県東松島鳴瀬川河口の河川堤防
150m²試験区・内陸部試験区(10km上流)
60m²試験区、桂高校河口堤防モデル試験区6m²・各種ノシバ保存試験区100m²

試験方法:試験区(鳴瀬川)・各試験区に2m²の試験区を3箇所設置

各試験区を1m²毎に分割し計測

試験区(桂高校)・各試験区に1m²(1m×1m)を各1か所設置。小粒MAPを散布(500g/m²)してモニタリング

供試材料:MAP(肥料グリーンマップG)

(成分)アンモニア性窒素6.0%・ク溶性リン酸36%・ク溶性カリ6.0%・ク溶性苦土(Mg)16%

② 試験結果

実証試験は2016年7月から開始、いずれの試験区も散布後14日程度で芝の色は濃緑色をしめし始めた。30日後には芝の密度及び生育が周辺部に比べて差がはっきりとわかるほど爆発的な生育を示した。桂高校の河川堤防モデル区において、MAPの周辺部への流出調査を行っているが、試験後30日で10cm程度、試験区下部への流出があり、散布部分から移動は、ほとんどないことも判った。散布前から生息していたメヒシバ

は、MAPの影響で周辺部のメヒシバに比べて3倍程度の大きさに成長するなど、肥料効果がノシバの生育と同様に影響を受けることもわかった。新しく発生する雑草種は見当たらず、種子発芽抑制効果もあることも証明できた(写真1)。



写真1 桂高校試験圃場での実証試験

2-5 MAPが発芽抑制できる理由の解明

本研究においてMAPは発芽抑制効果と肥料効果を確認できたが、MAPの生成過程での塩素がこれらの効果に関わっていることは確認できなかった。そこでク溶性のMAPがどのようにして、これらの効果を表しているのかを解明する必要がある。MAPのク溶性は、植物根が出す根酸(有機酸)で溶解し利用できる。そこで本研究では、根酸がMAPの肥料効果と雑草抑制効果に関わっていると仮定して、根酸(ムギネ酸)を出す代表的なムギを用いて実験を行った。

① 研究材料及び方法

供試植物:小麦(南部・パン)

供試材料:ワグネルポット(1/2000r)

培養土(赤土PH7.9、有効態リン酸530mg/100g、リン酸吸収係数800mg/100g土壌分析による)MAP・化成肥料・人工海水

試験方法:南部小麦・パン小麦をワグネルポットに植栽して栽培、MAP(500g/m²)、化成肥料(70g/m²)を散布した試験区と無添加の試験区及び塩害地試験区を設置し、排水液を定期的(5週間)に採取してトルオーグ法にてリンイオンを測定した。

② 研究結果

南部・パン小麦とも雨の影響を受けないパイプハウスにて栽培を行った。MAP・化成肥料区は、対象区、塩害区に比べて旺盛な生育を示した。(写真2・3)特にMAP区に散布しているMAPは、ク溶性でpH2程度の強酸性土壌でないと肥料として利用することができないにもかかわらず旺盛な生育を示していることから、何

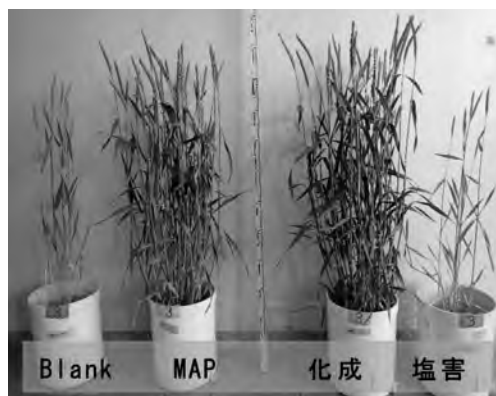


写真2 コムギ栽培テスト(南部小麦)

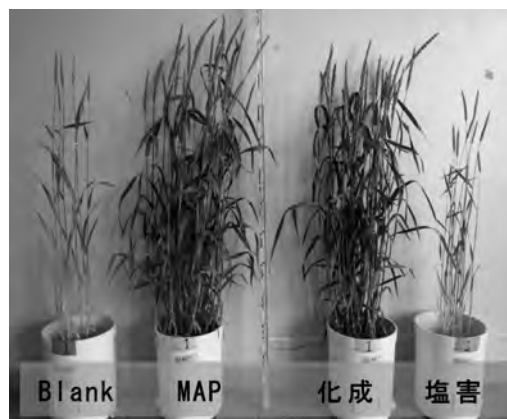


写真3 コムギ栽培テスト(パン小麦)

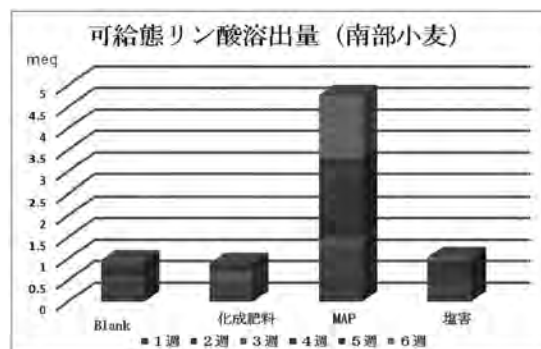


図6 可給態リン酸溶出量(南部小麦)

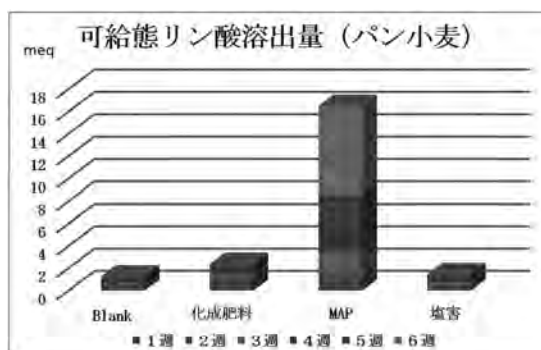


図7 可給態リン酸溶出量(パン小麦)

らかの要素が加わっていると考えられた。そこで、各試験区から灌水時に採取した排水液をトルオーグ法にて可給態リン酸を測定したところ南部・パン小麦の両MAP区において、全期間において可給態リン酸の溶出が確認できた。(図6・7)

麦類が出す根酸（ムギネ酸）は、pH 2～3であり、植物の根酸が何らかの形でかかわっていることが示唆された。また、何も肥料を与えていない試験区、塩害状態にして、植物ストレスを与えた試験区において、可給態リン酸の溶出が確認できなかったことから、MAPが植物の根酸を誘導して、MAPを溶解して利用、もしくは土壌中の不可給態のリンを溶かして利用していると推測される。雑草の種子発芽抑制効果についても、塩化物による発芽抑制よりも、根酸（有機酸）が、雑草種子の発芽に影響を与えたのではと推測され、さらなる研究を継続して取り組みたい。

4. 考察及び結論

リン酸マグネシウムアンモニウム（MAP）は下水処理過程で、汚泥に含まれるリンやアンモニアを回収する技術として開発された晶析MAP法を用いて生成される物質である。下水処理場では、取り出されたMAPの多くは焼成処理されて廃棄されるが、近年、MAPのリン含有率の多さが注目され、MAPからリンを回収する技術が様々な機関で取り組まれている。リンは農業では、肥料の3大要素の一つであり、世界で枯渇が懸念されている資源であり、日本は全量を輸入に頼っている。下水に流入するリンはこの輸入量の3割から5割に相当し、下水から効率的に再生することは、持続可能な資源として注目されている。一方、MAP自体の活用方法は肥料原料・化成肥料としては考えられているが、その有効な利用方法はほとんど研究が進んでいないのが現状である。その原因は、MAP成分がリン酸とマグネシウムが多くバランスが悪いこと、ク溶性で簡単に溶けないことである。そのため、生成されたMAPは肥料原料もしくは焼却処分されるかの方法しかなく、国内では一部の下水処理場でしか実用化されていない。

本研究は、河川法面の芝地の植物遷移を抑制するために取り組んだ研究ではあるが、MAPの活用方法に取り組んでいる中で、MAPが植物の根酸（有機酸）を誘導することがわかってきた。根酸は土壌中にプロトン（H⁺）を放出して、土壌粒子に吸着され不溶性となったリンやカリウム・ナトリウム・マグネシウム・金属を解離して植物に吸収されやすい形にして利用できるようにする働きを持っている。しかし有機酸は植物から常に排出されるのではなく、植物ストレスや特定の土壌環境下でないと誘導されないことがわかっている。本研究ではMAPが土壌環境や植物ストレスに関係なく根

酸（有機酸）を誘導でき、それが日本芝の持つ根酸を強く誘導して肥料効果と雑草抑制効果を引き出したと考えている。（写真4）



写真4 鳴瀬川にての試験圃場

5. MAPの活用が土壌環境を変える可能性

日本の土壌は火山灰土を中心とした土壌で、酸性改良とリン酸施用を施さないと作物が育たない生産性の低い土壌です。そのため、戦後食料増産のため過剰に肥料を与えてきた結果、多くの農地がリン酸過剰の状態が生産性に影響が出始めています。また、地下水や河川水の汚染源にもなっています。これを改善するには、土壌に含まれている過剰なリンを減少させる必要があります。MAPは肥料として作物の生産性を損なうことなく、植物が本来持つ根酸（有機酸）を誘導し、土壌内に過剰蓄積された不可給態リン酸を減少させ、水環境を改善できる物質であると考えている。また、MAPの生産も下水処理過程で得られる化合物であることから、持続可能な農業生産を実現できる方法として、今後も研究を続けていきたい。

6. 参考文献

- 1) Maggie Black・Janet King (著)「水の世界地図第2版」丸善書店 2010
- 2) 中村直彦編「ノシバ・コウライ芝」ソフトサイエンス社 1993
- 3) 中村徹編「草原の科学への招待」筑波大学出版会 2007
- 4) 白毛宏和「MAP法によるリン回収資源化システム」2004
- 5) 西尾通徳・木村龍介「リン溶解菌と農業利用の可能性」1986
- 6) 黒田章夫・滝口 昇他「リン枯渇資源の危機予測とそれに対応したリン有効利用技術の開発」2004

京都府立桂高等学校
地球を守る新技術の開発研究班