

NPO 21世紀水倶楽部 2017年度研究集会

『リン資源の課題と下水道MAP技術の展開』

開催日：平成30年2月7日（水）13：30～17：00

開催場所：けんぽプラザ 東京都渋谷区千駄ヶ谷2-37-9

プログラム：

13:30～13:40	開会挨拶	21世紀水倶楽部理事長 佐藤和明
13:40～14:20	Pイノベーションー持続的リン利用とリン循環 産業ビジョン	早稲田大学総合研究機構リンア トラス研究所客員教授・大阪大 学名誉教授 大竹久夫
14:20～15:00	わが国の農耕地土壌の実態と回収リン酸肥料 (MAP)の活用	東京農業大学名誉教授・「全国土 の会」会長 後藤逸男
15:00～15:25	MAP事業20年を振り返って～福岡市のリ ン資源活用への挑戦～	福岡市道路下水道局 下水道施 設部 施設整備課長 管谷悌治
15:25～15:50	B-DASH におけるリン回収と資源循環の取組～ KOBÉハーベスト(大収穫)プロジェクト～	水ing株式会社 情報ソリュー ション統括 情報価値創造部部 長 古賀大輔
15:50～16:00	休憩	
16:00～17:00	総合討論（質疑を含む）	コーディネータ：21世紀水倶 楽部 佐藤和明
17:00	閉会	

リンはあらゆる生物にとって欠くことのできない物質ですが、日本国内ではリン鉱石は産出せず、必要なリンのほぼ全量を輸入に頼っています。一方、下水処理場には、下水道を通じ輸入リン量の約1割の量が流入していますが、コンポストなどで肥料として利用される量は、そのうちの1割程度です。このため、国土交通省は下水道の活用による付加価値向上策のひとつとして、下水中のリンの資源回収の推進を提唱しています。本研究集会では、このような情勢を踏まえ、「リン資源の課題と下水道MAP技術の展開」をテーマに、学識経験者や先進事例を持つ自治体、関係メーカーの方がたをお迎えし、下水道のリン回収ポテンシャルの高さや社会的意義を議論するとともに、最新の技術の事例の紹介を行いました。また、総合討論では、今後のMAP技術の発展方向や需要者への働きかけ方などについて討論しました。

本日は技術の話は他の講師にお願いすることとし、リンがいかに重要であり、リンを循環する産業がいかに将来性があるかということをお話したい。

人の体は 35 の元素で出来上がっているが、その内の 6 の多量元素は酸素、炭素、水素、窒素、カルシウム、リンである。1 日 1 人当たり約 1g のリンが必要で、日本の人口 1.27 億人に対し 4.6 万 t/年のリンが要る (図 1)。日本ではリン資源がないのでこれが全て海外から入ってくることになる。食料を生産するためにはその 5 倍のリン量が必要で、わが国では 120 万 t/年のリン鉱石が必要となる。日本は過去、食料を自給自足していたが、今では 50%の食料と 100%近くの飼料を輸入している。このことを考えると、今や私たちの体のリンは中国やモロッコのリンに置き換わっている状況だ。こうした状況、日本にはリンがないということを教育していないということは問題だ。

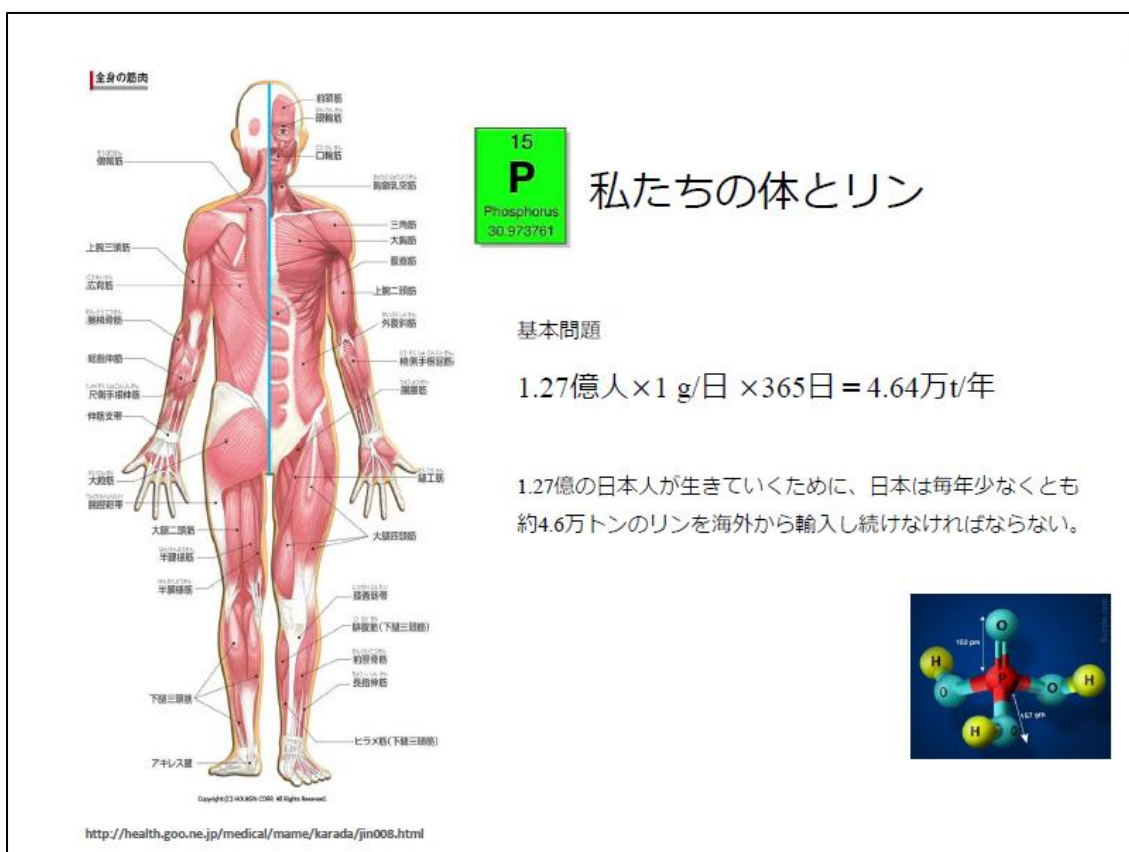


図 1

資源問題というと石油やレアメタルが注目されるが、リンは食料に関する必須元素なのでなお重要だ。リン資源は今世紀中に枯渇するという話もあったが、モロッコに世界の 75% を占める埋蔵量が確認されたので、今では 260 年は持つということになっている。しかし、モロッコや中国に偏在するという地政学的な問題と同時に、モロッコのリン鉱石はカドミ

ウムとウランの含有率が高いということがある。資源問題というのは、資源量があるかどうかということだけではなく、その資源が安定的に入手できるのか、あるいはそれが安全なものであるのかということにも関係してくる。図2はリン鉱石の品位が過去からどのように推移してきたかを示しているが、1970年当時と比べると質の良いリン鉱石は半減、選鉱技術の進歩はあるが当時は捨てていたようなリン鉱石まで使っている。リン鉱石の採掘には、大量の廃棄物が生じ環境問題を引き起こしている。また1tのリンの生産には5tの石膏が副産されこれが現地では山と積まれている。

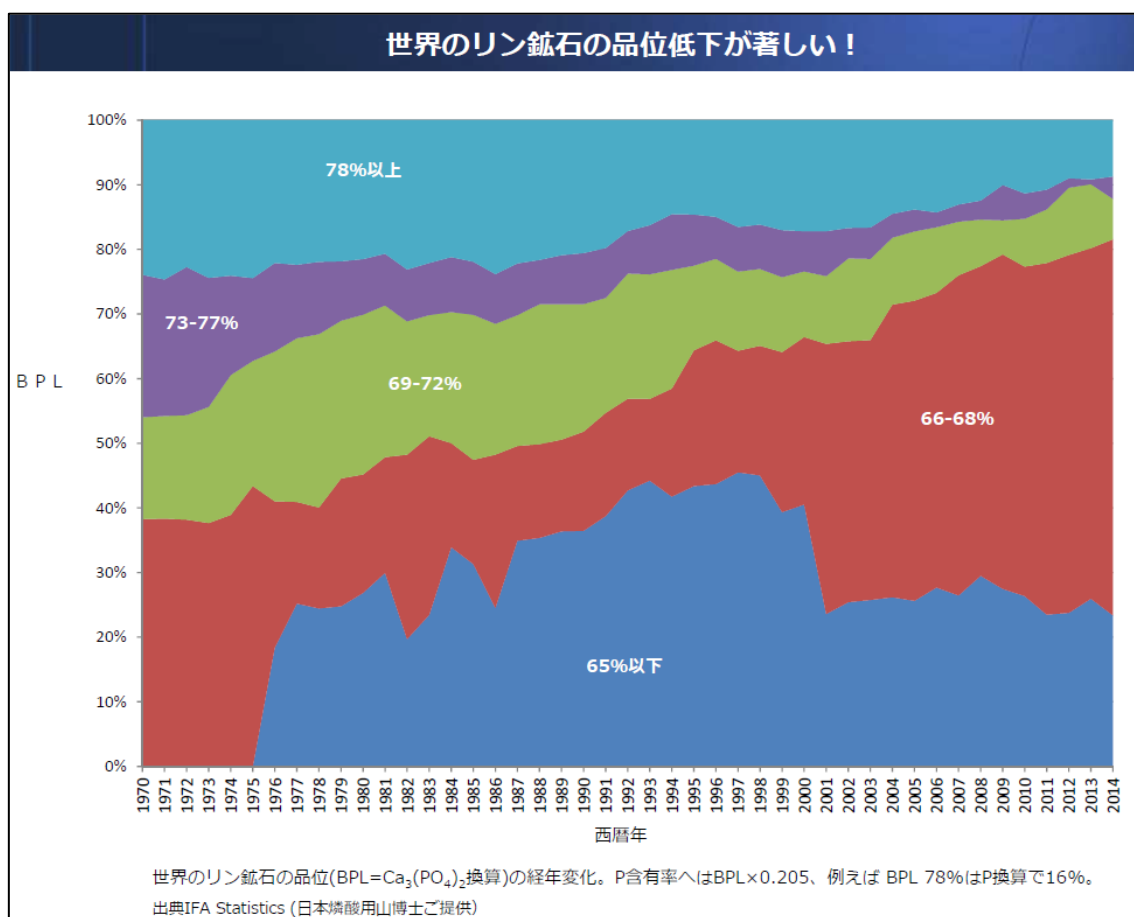


図2

さてリンほど素材としての重要性が理解されていない元素（鉱物資源）はないと思う。リンは農業以外に工業でも重要で、EV車の電池、エッチング材、燃料電池、太陽光パネル、コンピュータ、医薬品、各種食料添加物として広く使われている。いわば産業の栄養素として薄く広く使われていて、この工業用に使われるリンは高純度なものが要求される。日本はリンの消費大国であり、リン鉱石、リン安、黄リンを外国から輸入しているが、食料輸入先のフレンドリーな国と比べると難しい国を相手にしている（図3）。

リンに関するマテリアルフローならびに経済の実態は殆ど知られておらず、未だにリンショック前の数値となっている。リンアトラス研究所で作成したフローによれば、わが国は

輸入される食飼料及び鉄鉱石に因る二次リン資源は豊富であり、リサイクルの能力は高い。黄燐の産出国は現在、中国、アメリカ、カザフスタン、ベトナムに限られているが、これは黄燐の現生産プロセスが大量の電気を消費する他、ウランやラドンなどの環境汚染物質を出すことによる。黄燐に関して新しい生産プロセスが開発できれば、二次資源が豊富にあるわが国では大きなビジネスチャンスになる。高機能リン化合物の製造も合わせてPイノベーションに取り組む必要がある。

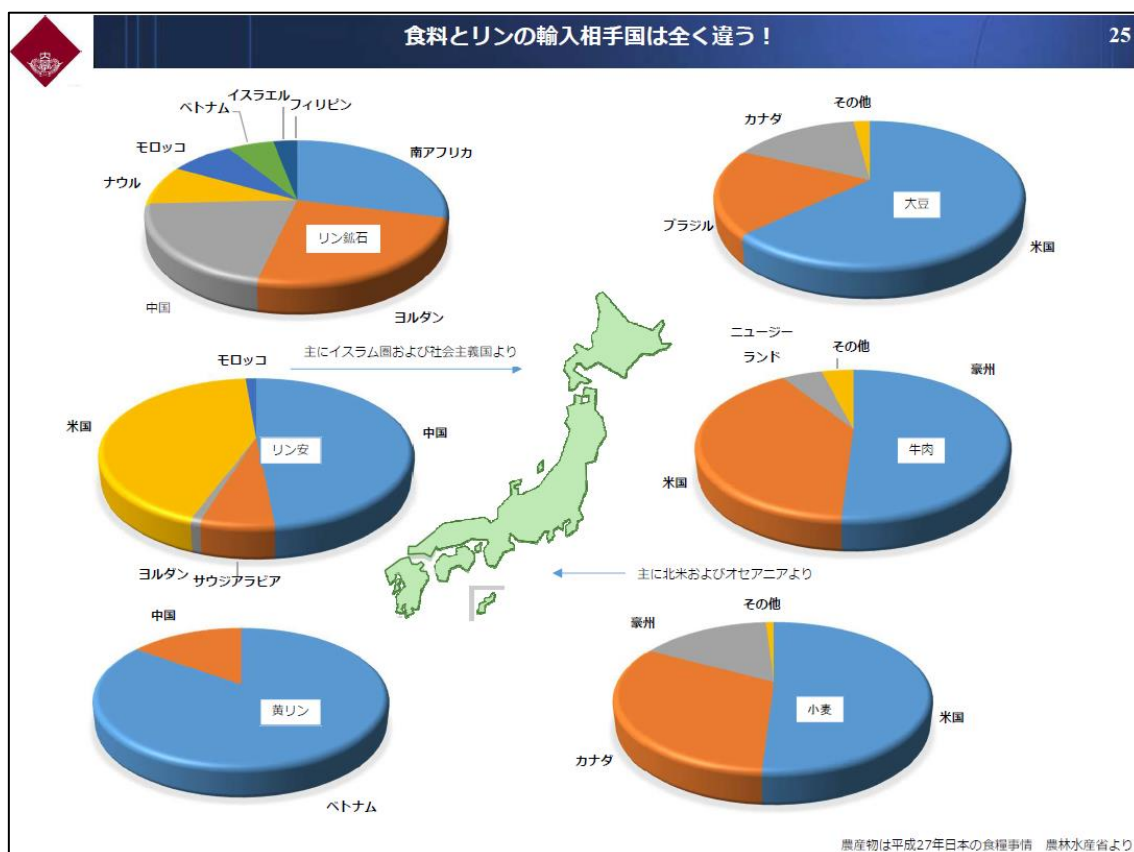


図 3

日本では専ら 3R の取組みが行われているが、欧州ではサーキュラー・エコノミーあるいは SDGs の観点で資源問題の取組みが行われている。3R では個別物品ごとにリサイクル法の適用になるが、資源は横串に繋がって動くので、リサイクル法をやっても資源がなくなるということになる。

日本では現在のところ、リンについて総合的に見ている機関もなければ、専門的に研究している場所もない。リン資源について、個別の事業ごとに経済採算性を考えていくだけでは限界がある。国民にどの様にリンの重要性をわかってもらうのか。また、経済担当者にこの問題をどう理解していただくのか。ということで早稲田大学にリンアトラス研究所をつくり、リンに関するシンクタンクとしての活動を始めている。皆様にもご支援いただきたい。

## わが国の農耕地土壌の実態と回収リン酸肥料(MAP)の活用

東京農業大学名誉教授・全国土の会会長

後藤 逸男

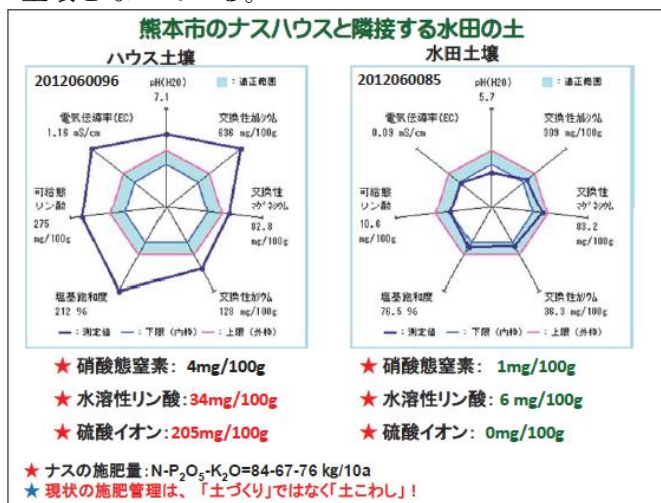
3年前に大学を定年退職し、現在は、農業生産者や農業関係技術者に対する啓発活動を行っている。約20年前に、北九州市において海水のマグネシウムを利用したMAPと出会ったが、これがMAPに関わるようになった最初である。

### 農耕地土壌の実態

現在、全国で約450万haの農地があるが、その半分が水田、残りが畑地である。水田の土は主に低地土（沖積土）であり、比較的肥えているが、畑の土は約半分が黒ボク土であり、火山灰由来で肥沃度が極めて低い。土壌の健康度は、東京農大式土壌診断システム「Webみどりくん」によって判定することができる。診断項目としては、pH、カルシウム・マグネシウム・カリウム、陽イオン交換容量のうち陽イオンが占める割合（%）を示す塩基飽和度、可給態リン酸、電気伝導率がある。塩基飽和度は土の胃袋の膨れ具合を示す指標、可給態リン酸は、植物に利用吸収されるリン酸を示す指標、電気伝導率は塩類濃度を示す指標である。農水省の地力増進法の基準値として、上限値と下限値があり、この範囲内にあれば土壌は健康であると言える。

可給態リン酸は、pH3の硫酸で抽出されるリン酸で、植物が根から根酸を出してリン酸を可溶化するメカニズムに基づいて作った分析法である。この値はリン酸カルシウムに対応し、10ないし20~100mg/100gであることが望ましい。なお、土壌中のアルミニウムと結合したリン酸は難溶性となり、植物が利用しにくい。黒ボク土の特徴として、pHが低いこと、カルシウム、マグネシウムが雨で溶脱していること、可給態リン酸が低いことが挙げられる。一方、水田土壌は、各診断項目が下限値すれすれであるものの、レーダーチャートが円に近く、バランスが良い土壌となっている。

1950年代から、国を挙げての土壌調査が行われてきている。可給態リン酸含有量は地目間で異なり、樹園地や施設（ハウス）といった園芸土壌中は、高い値であるとともに増加を続け、メタボ化が進んでいる。即ち、リン酸の偏在化が生じている。これに対し、土壌診断に基づいた施肥管理の必要性が指摘されてきたが、実際には行われていない。



熊本市のナスのハウス栽培は、20~30年前から行われるようになってきたが、稲作に比

べて高額の所得が得られるため、施肥が過剰となっている。土壌は、隣接する水田の土壌と比べると、可給態リン酸が適正值の10倍となっている。一方、水田は施肥も十分でないために痩せている。

JA十和田おいらせは、全国で最先端の土壌診断室を整備し、年間4,000点の分析を行っている。農耕地土壌中の可給態リン酸量は、施設（ハウス）で高く、露地、水田の順に低くなっており、地目間で大きな差がある。平成20年以降、毎年行われている営農教室での指導により、ハウスでの施肥が抑えられ、近年、可給態リン酸量の値が畑土壌の適正域に近づいてきている。

#### 日本農業における今後のリン酸資源の課題

農耕地には、施設（ハウス）に見るように、リン酸が過剰に蓄積しているところもあるが、施設園芸面積は5万haと全耕地面積の1%であり、多くの農耕地ではリン酸が不足している。

このため、土壌リン酸が過剰な農耕地では、無リン酸栽培を行い、蓄積リン酸を積極的に利用し、一方、リン酸が欠乏した農耕地では、積極的に回収リン酸を施用するなど、リン酸肥料の適正利用を最優先させる必要がある。

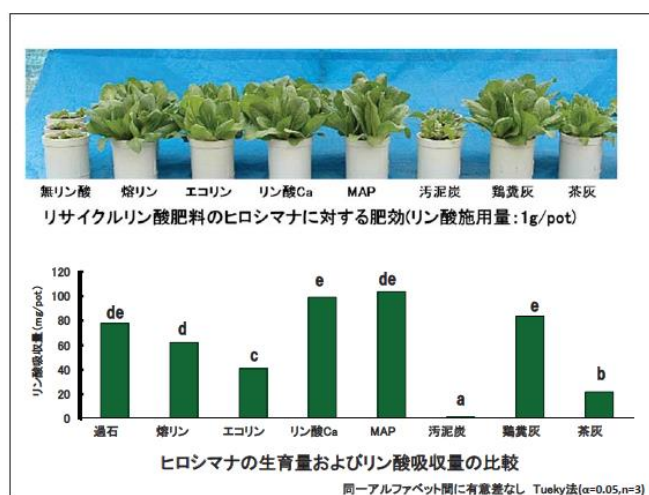
これまでの過剰施肥については、2008年のリンショック以降、流れが変わってきている。リン酸肥料の自給率向上も急務である。

#### 各種リサイクルリン酸肥料の肥効の比較

下水処理場から回収したリサイクルリン酸資材と、その他の有機性廃棄物を原料としたリン酸資材の肥効を比較した。

ヒロシマナに対する肥効を比較したところ、下水汚泥炭化物（汚泥炭）や茶殻灰化物（茶灰）以外で生育量が顕著に増加し、リサイクルリン酸資材の肥効が確認された。汚泥炭と茶灰において、ヒロシマナによるリン酸吸収量が少なかった原因として、汚泥炭が高温処理されていること、また、茶灰にアルミニウムが高い濃度で含まれていることが挙げられる。

次いで、水稲に対する肥効を比較したところ、汚泥炭以外で生育量が顕著に増加し、水稲に対してもリサイクルリン酸資材の肥効が確認された。茶灰については、土壌中で3価鉄が2価に還元されることにより、リンが溶解し、水稲の生育が良くなっている。なお、リン酸カルシウム（およびMAP）肥料において、水稲のケイ酸吸収量が少ないが、これは当該肥料中にケイ酸が含まれていないためである。



## 下水汚泥を原料とするリン酸肥料の肥料学的評価

### ○MAP

- ・既存の熔リンやリン酸カルシウムと同等のリン酸肥効。
- ・しかし、成分が純粋すぎて、下水汚泥の特性が生かせない（肥料としては、有害成分以外は様々な物質が含まれた方が良い）。
- ・ケイ酸が少ないため、水田ではなく畑地への施用が望ましい。

### ○熔成汚泥灰複合肥料（エコリン）

- ・熔リンに類似するリン酸肥料である。
- ・ケイ酸などの副成分により、野菜より水稻で肥効が高い。

## MAP 肥料の評価

MAP の肥効を過リン酸石灰と比較したところ、土壌の塩類濃度が低いため根が生育しやすく、また、マグネシウムの吸収量が高い結果となった。最近の有機農業では、有機資材中にマグネシウム量が少ないことが課題であるが、MAP を利用することでマグネシウムの供給ができる。

また、MAP の粒径を変えることにより、リンの肥効調節が可能である（例：粒径が粗の場合、緩効性で長期間の肥効）。

### MAP を肥料としてどのように活用すべきか

- ・リン酸を必要とする水田や露地畑（特に黒ボク土地域）に施用する。しかし、残念ながらケイ酸が含まれていない。
- ・リン酸やマグネシウムが流亡しやすい砂地土壌において、水に不溶の粒状 MAP の活用が有効。
- ・高く売れるゴルフ場の芝地に活用する。
- ・下水汚泥から純物質である MAP を作成したのであるから、MAP 単品で活用する。
- ・運賃節約のため、地産地消肥料として地元で消費する。
- ・粉末では使いにくいので、粒状品の製造が望ましい。

### 容易な加工で下水汚泥焼却灰をリン酸肥料に

有害金属がない焼却灰について、天然ゼオライトとクエン酸を加えることにより、手間を加えずに安価な肥料とすることができる（下水灰成型資材）。ソルゴー（飼料作物）に対して、化学肥料と同等の肥効を示す。この肥料は、リン酸だけでなく汚泥中の他の成分も利用されている。

MAPの粒径がコマツナのリン酸肥効に及ぼす影響(ポット栽培試験)

表4 試験区および施肥設計

試験区	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N		K <sub>2</sub> O
		MAP	硫酸-N	
MAP 5%	360	70	70	100
MAP 10%	720	140	0	100
過石 5%	360	0	140	100
過石 10%	720	0	140	100
熔リン 5%	360	0	140	100
熔リン10%	720	0	140	100
無リン酸区	0	0	140	100

(g/pot)

注1) 過石、熔リン、無リン酸区にはMAP区に相当するマグネシウムを硫酸マグネシウムで施用した。

注2) MAPの粒径  
細：直径0.5mm以下  
中：直径1.0～1.4mm  
粗：直径1.7～2.4mm



供試土壌：多腐植質黒ボク土(未耕地)

## MAP 事業 20 年を振り返って ～福岡市のリン資源活用への挑戦～

福岡市 道路下水道局 下水道施設部 施設整備課長 管谷悌治

### 高度処理導入の経緯

福岡市は、都心部や J R 博多駅、福岡空港、博多港などの主な施設が全て半径 2.5 km 圏内にコンパクトに集積しながら、一方で、ユネスコ無形文化遺産に登録された「博多祇園山笠」祭りや「食・グルメ」「有数の歓楽街」など魅力に溢れた、人口 157 万人の政令指定都市である。

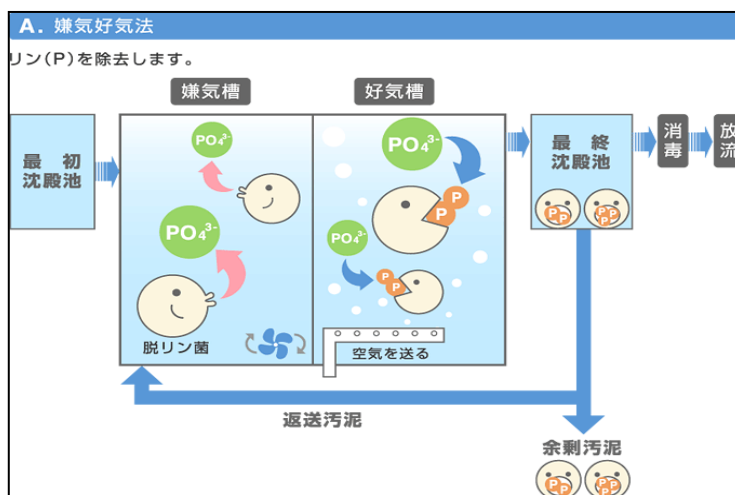
明治 22 年(1889)に市制を引き、1972 年に政令市に移行、下水道の普及率は 99.6% である。福岡市の市街地は博多湾を取り囲むように広がっていることから、6 つの福岡市公共下水道の水処理センターと福岡県が管理する御笠川流域の浄化センターの放流水はいずれも博多湾に流入することになる。その博多湾は閉鎖性水域であり栄養塩類が蓄積しやすく下水処理の高度化が求められていた。

そうしたことから福岡市では平成 4 年に高度処理基本計画を策定した。検討の結果、博多湾の N / P 比から植物プランクトンの制限因子はリンであり、博多湾の浄化にはリンの削減が効果的であることが明らかになった。

リンを除去する高度処理の方式選定には、①新たな用地が不要、②汚泥発生量が標準法並み、③省エネルギー性、④維持管理の容易性、に重点を置き「嫌気好気活性汚泥法」を採用することとした。この方式は、生物反応槽の前段を嫌気状態に保って一旦微生物にリンを放出させ、後段を好気状態にして大量にリン

を吸収させたいうで、余剰汚泥としてリンを除去するものである。この方式を導入して以来、放流水中の全リン濃度は、従前 1mg/L であったものが 1 / 3 の 0.3mg/L に低減された。その結果、博多湾の現状水質も 0.03mg/L と、環境基準の 0.05mg/L をクリアしている。

## 嫌気好気活性汚泥



### MAP 法技術開発の経緯

汚泥消化プロセスを採用している処理場、特に海辺に近い処理場では下水中の Mg 濃度が高いことから配管等が閉塞するトラブルに見舞われる。中部水処理センターにおいても



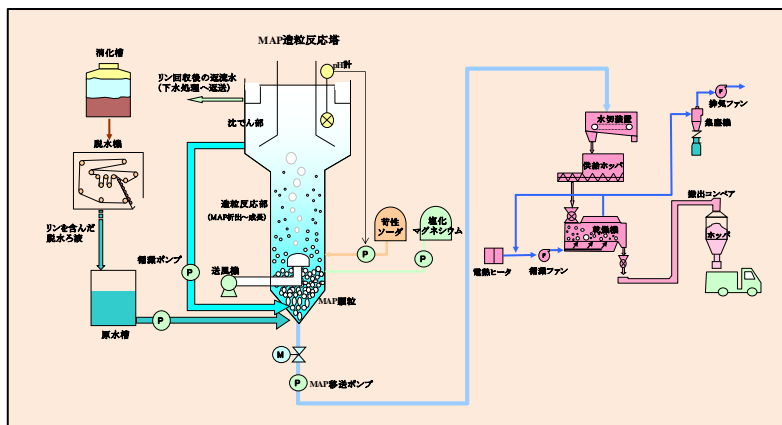
消化槽脱離液移送管に多量のスケールが付着する現象に悩まされていた。調査の結果、そのスケールがリン酸マグネシウムアンモニウム (MAP) であることが判明した。

脱水ろ液等に含まれるリンが除去されないまま、処理場内の処理プロセス中を循環すると、配管の閉塞のほか、放流水中のリン濃度にも悪影響が及ぶ。その対応策としては、①人工的に MAP を生成させて除去する方法 (MAP 法)、②薬品(ポリ鉄)による除去、③汚泥消化プロセスの廃止、などが考えられる。福岡市としては、消化プロセスは汚泥の減量化やエネルギー利用に有効であり止められないので、和自・東部・西部の 3 センターは MAP 法により、西戸崎・中部については薬品による除去を行うこととした。

そこで、東部水処理センターでは昭和 63 年から 3 年間のテーブル試験、西部水処理センターでは平成 5 年から 3 年間の実証規模のプラント実験を経て、MAP 法によるリンの除去施設を導入した。

MAP 造粒反応塔では、消化汚泥の脱水ろ液を下部から注入し、循環ポンプで循環させながら塩化マグネシウムを添加し、pH 調整用の苛性ソーダを加え、造粒させる。MAP は 2mm 以上の粒子になると重みで沈降する。一定量貯まるとポンプで引き抜き、水切り装置・乾燥機を経て、プレコンパックに詰め成分分析の後、販売先のトラックで搬出される。粒径が小さいままだと沈まず反応塔の上方に流れてしまう。pH が高すぎると粉状になり回収できない。水切り装置で回収できず排水ラインに戻ることや、温風乾燥工程で排気ラインに送られてしまうこともある。

## MAP 施設フロー



### 造粒塔



### 造粒マップ



### 肥料としての有効利用

現在「高度複合肥料ふくまっぷ 2 1」の名称で、肥料登録している。

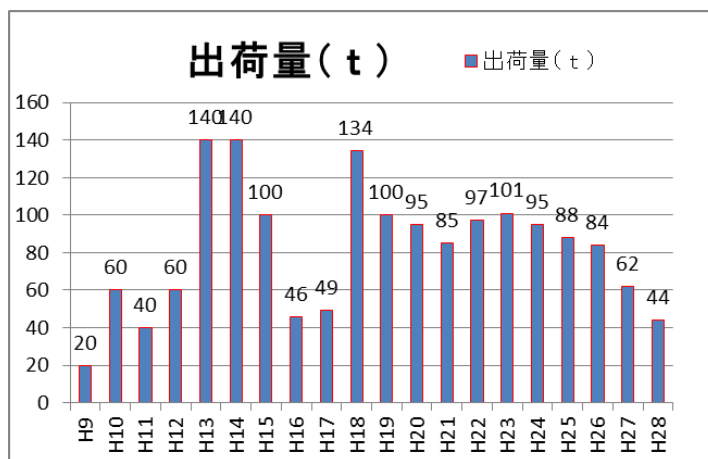
当初は工場が千葉にある肥料会社に販売していた。トラックの運送費は嵩むものの、取扱量が多く、安定的に購入してもらえるので契約していた。

その後平成 17 年から、地元福岡県内で安定した取引先が見つかったので変更した。その際、運送費もかからないので、販売価格を 1,000 円/t から 20,000 円/t に改定した。また、国際的にリン鉱石の取引価格が高騰した時期に、価格交渉を行って値上げし現在に至っている。

MAP の販売実績を見ると、平成 16・17 年は取引先の切り替え時期で落ち込んでいるが、その後は順調に推移していた。リン鉱石の価格高騰時には他からの引き合いもあったが、近年の販売量は低調であり、現在契約先への出荷も滞り気味である。

MAP 施設運転の課題も明らかになってきた。硬い MAP を移送するモノポンプの劣化が想定より激しく、交換や修理には 200 万円ほどかかる。乾燥設備の水切りメッシュの破れも発生する。金属配管は詰まり易いのでフレキシブルなビニルホースに取り換えた。MAP の在庫管理も負担となり、出荷までに長期間が経過すると、その間に MAP が吸湿するため成分の再確認が必要となる。西部水管理センターMAP 施設の年間維持管理費は約 3,000 万円であり製造量 30t で単純に計算すると 100 万円/t となる。現状販売価格 3 万円/t に対し、減価償却費抜きでもの約 30 倍の原価になり、販売を目的とした施設としては現状では採算が厳しい。

## 販売実績

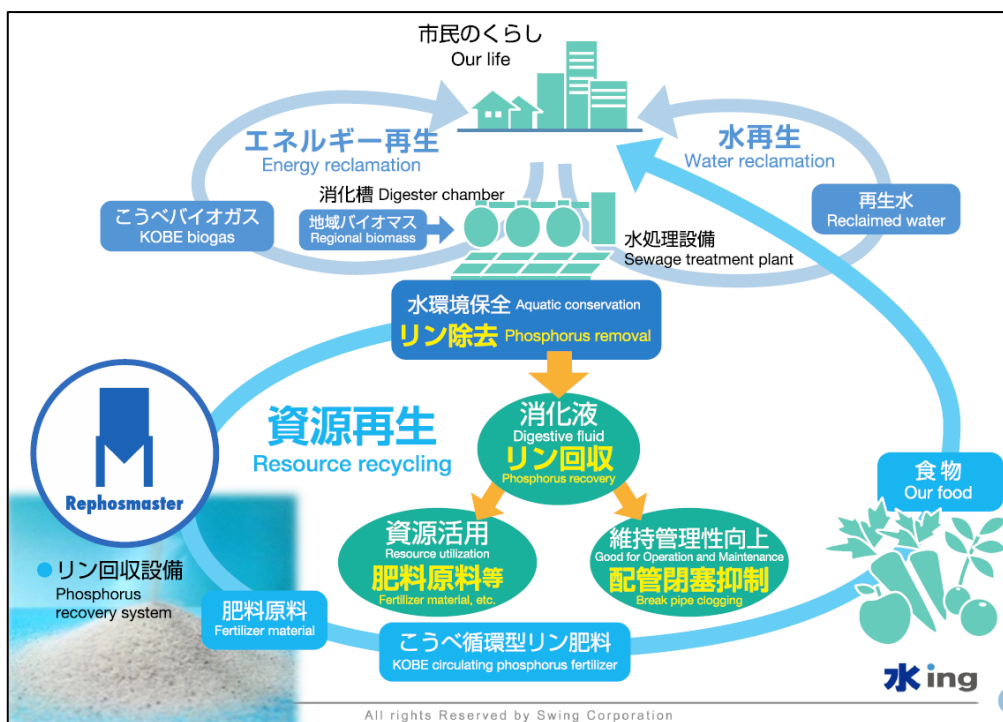


### 今後の方向

博多市民の貴重な財産である博多湾を守るために下水道に高度処理を導入し、その中で返流水の対策として MAP 法を開発、副産物のリンを肥料として供給しこの 20 年間一定の成果を上げてきた。しかし、近年、リンの季節別放流などの新しい考え方も生まれつつある。博多湾においても、ノリや藻場の育成の観点から冬場にリンを放流してほしいとの要望もある。MAP 法の運転では多量のエネルギーも消費する。今後、社会状況や下水道事業を取り巻く環境の変化に応じて、リン資源活用はどのようなあり方が望ましいのか、MAP 法に囚われず幅広く検討して参りたい。

プロジェクトの導入

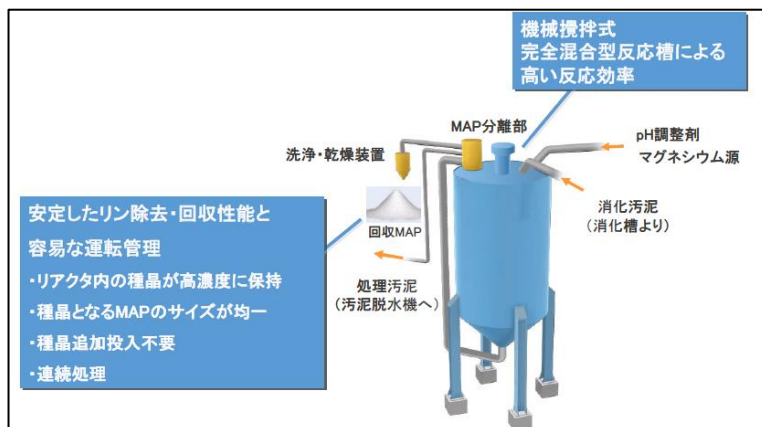
始めに水 ing の紹介がされた。プロジェクトの導入であるが、下水処理場におけるリンに係わる課題に関し、神戸市においても海の近くに大きな下水処理場があり、配管閉塞とか脱水機のトラブルがあった。そこで、これらを解決するため、ハーベストプロジェクトが開始された。このコンセプトは、消化液からのリン回収を通じて配管閉塞抑制、地域への肥料原料の供給を行い、資源循環を図ることである。このプロジェクトは、2012年にB-DASHに採択され、プラントを建設し実証実験装置を運転している。その後、得られたMAPの肥料登録をし、これを用いて試験栽培を行った。さらに、2015年より肥料の販売を開始した。



技術の概要

今回紹介する技術は、福岡市のような脱水ろ液からリンを回収する技術ではなく、消化汚泥からリンを回収するものである。これは、消化汚泥中のリン酸態リンをMAPに晶析させ除去回収することに加え、消化タンク内で既に精製されている一割程度の粗大なMAPの回収が可能である。次にMAP回収装置であるが、従来は上向流が主流であったが、消化汚泥は粘性が高いため機械攪拌式・完全混合式反応槽を用いた。種晶と汚泥MAPの分離は液体サイクロンで行っている。これにより、リン酸除去率90%を安定して

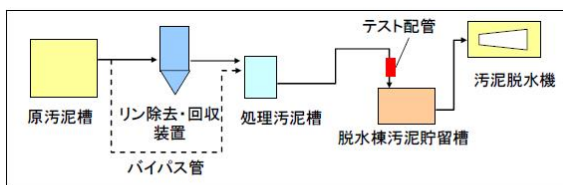
得られている。このリフオスマスター装置の導入効果であるが、高濃度にリンを含む消化汚泥から直接リンを除去回収することによって、リン回収量の増加、水処理への返流水負荷の低減、スケリトラブル低減、さらには汚泥発生量の低減がある。



### B-DASH プロジェクトの実証効果

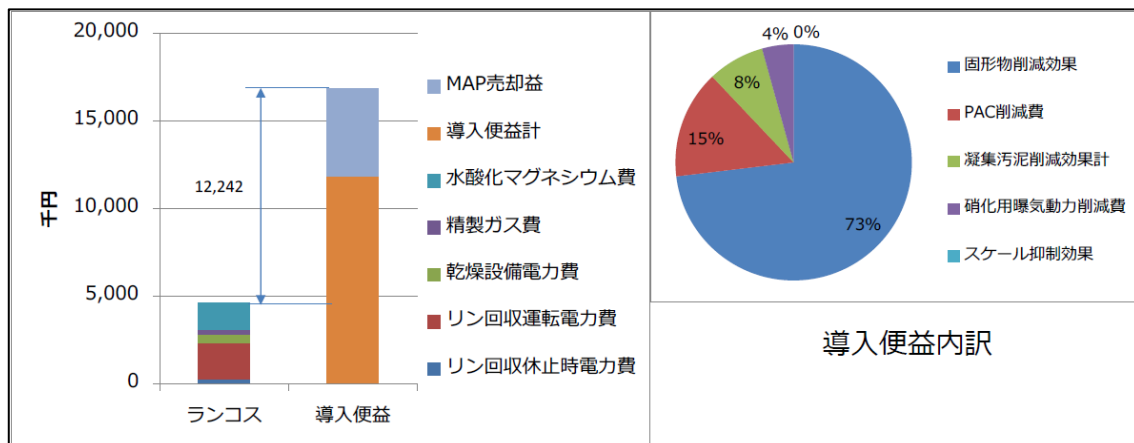
実証実験は、水ing、神戸市と三菱商事アグリサービスの三者で共同企業体を組み行った。実証フローであるが、消化汚泥貯留槽—リン除去回収装置—MAP 乾燥・貯留設備から構成されている。処理消化液量は、計画値で 239m<sup>3</sup>/日、この量は東灘処理場の 1/4 スケールである。実証実験の処理性能であるが、流入の T-P は 600mg/L、流出の T-P は 350mg/L 程度で、除去率が平均 37.3% であり、PO<sub>4</sub>-P の除去率は平均 90.0% であった。また。脱水ろ液の T-P は、リン回収なしの場合は 150~200mg/L に対して、リン回収の場合は 15~20mg/L となり、85% 以上除去された。脱水ろ液からの MAP 法に比較し、MAP 回収量が 1.5 倍以上となった。さらに、無機性リンの除去による汚泥量削減により、汚泥固形物量が、平均 3.3% 削減された。配管でのスケール付着低減効果を見ると、2 種類のテスト配管を使ってスケール付着状況を確認した。これにより、リン除去なしでは MAP と推定されるスケールが付着したのに対し、リン除去回収運転ではスケール付着は外観上認められなかった。

<試験方法>  
 実配管(80A SUS304TP)による外観確認  
 設置期間：リン除去・回収運転：延べ119日  
 リン除去回収バイパス運転：延べ47日  
 設置場所：脱水棟汚泥貯留槽投入部配管  
 (試験期間毎に配管交換)



### プロジェクトの現在と今後

2013年から2014年がB-DASH運転で、その後運転を停止していた。2015年9月ごろから運転を再開したが、これに伴って、回収したリンを地産地消のリン資源循環を図る取り組みをしている。MAPそのもので畑に利用するのは難しいので、JA兵庫六甲様の配合肥料の原料として使ってもらっている。その肥料を使ったトウモロコシの試験栽培を兵庫県農業改良普及センターで評価してもらい、2015年には、兵庫六甲や協力農家で様々な野菜で試験栽培を実施し、慣行肥料と同等の肥効を確認した。肥料パッケージであるが、こうべハーベストという名前で、成分は10-6-6<sub>2</sub>という割合で有機分50%となっている。これは、神戸市の神戸旬菜ブランドが使用肥料の有機分50%以上としていることによる。また、こうべ再生リン20%入りと表示されている。2015年12月より試験販売が開始された。この中で農家の方への資源循環取組の説明により認知向上を図った。MAP生産量、出荷量の推移であるが、生産量は2013年に30t強、2015年で25t、2016年40tである。出荷量は、2015年に販売を開始し徐々に伸びているが、現状では20t程度である。目標としては、100tを目指している。100t/年稼働率80%の時のランニングコストと導入便益を見ると、固形物削減効果等の便益とMAP売却益を合わせると、ランニングコスト500万円/年に対し便益1,700万円/年と大きなメリットが期待される。プロジェクトの今後であるが、現状は20t/年であるものを、流通先を拡大し早急に100t/年に持って行きたい。さらに、ポテンシャルとしては、神戸市全体で1,400t/年、国内では約50,000t/年が期待される。



#### まとめ

1. 本技術は、返流水リン負荷軽減、およびスケールリスク軽減に効果があり、**消化槽を有する処理場の課題解決**が可能
2. B-DASH 実証およびその後の運転で、**PO<sub>4</sub>-P 除去率 90%の安定稼働**。リンを効率良く除去・回収でき、維持管理性の良い技術
3. 回収 MAP 販売の他、下水処理場への**便益効果**が得られる
4. 消化汚泥からの回収 MAP として**初の化成肥料登録実績**
5. 地元 JA、営農者の理解と協力、**地産地消のリン資源循環を実現**
6. 目標 100t/年に向け、用途拡大、販路拡大

総合討論（コーディネータ：21世紀水倶楽部 佐藤和明）

（Q：質問、A：回答、C：コメント）

### 1. 総合討論（講師への質疑応答含む）

Q1（会場）：MAP 導入によって配管閉塞がどの程度解消されたのか？

A1（管谷氏）：具体的な数値がないのでイメージでの回答になるが、閉塞までには至らないものの詰まり（配管への付着）は現在でも発生している。ただ、20年前に比べて清掃回数は減少したという話は聞いている。その程度については、担当者も代わっており比較は難しい。

MAPを導入している処理場と導入していない処理場を比べると、導入していない処理場の配管閉塞の頻度は多く、非常に苦労している状況がある。この状況は、処理場によって異なる。中部水処理センターは海に近く古い施設が多いため、海水混入により塩化物濃度が高く、その影響で配管が詰まっている可能性もあり、単純にMAP施設がないからという理由ではないかもしれない。



Q2（会場）：MAP を導入していない処理場では、薬品を用いて管閉塞の問題を解決していると思うが、どういう薬品を使っているのか？ また、可能であれば経済性を含めて教えていただきたい。

A2（管谷氏）：MAP 導入の目的は、放流水中のリン除去であった。

MAP を導入していない中部水処理センターでは、閉塞しそうな箇所だけに薬品を入れて対応している。薬品はポリ鉄である。私見であるが、配管の閉塞防止だけを目的とするのであれば、薬品添加の方がMAP施設導入より経済的には有利ではないかと思う。

Q3（会場）：消化槽で自然発生的に出来るMAPの話に興味がある。昔から消化槽の前後でリンの収支が合わない、消化槽内に自然にMAPができて貯まっているのではないかとされている。そこで、出てきた消化汚泥のT-Pの内訳、リン酸態リンと有機態リンと微粒子MAPの割合はどの程度か？ また、消化槽前後のリン収支は取っているのか？ について教えていただきたい。

A3（古賀氏）：B-DASHの取り組みの中ではリン収支は取っていないが、過去の調査の中で消化槽前後のリン収支や処理場全体のリン濃度を計測したことがある。その調査の中で、消化槽内部に蓄積していると考えないと収支が合わないことを確認している。消化汚泥中のリンの割合は処理場によって違いがあり、高度処理で生物脱リンをしている処理場では当然リン濃度は高い。神戸市では嫌気好気法を採用しており、T-P=600mg/Lの

うち 200mg/L がリン酸態リン（1/3 程度がリン酸態リン）となっている。

消化汚泥中の MAP は、600mg/L のうちの 50～100mg/L 程度（濃度に換算して）が導入した装置で回収できる粒子の大きな MAP である。この他、汚泥との分離が非常に難しい細かい MAP がリン酸態リンと同じくらい入っている。その残りが有機体のリンである。

Q4（会場）：そうすると、微粒子態 MAP と有機体のリンは分離できないので、併せて 300～350mg/L ということか？ 講演の中では T-P の除去率が 35%程度ということであったが、その違いは何か？（有機体と微粒子 MAP 以外にもかなり流出しているということか？）

A4（古賀氏）：全体 600mg/L のうちの 300mg/L 以下が回収対象になっており、その回収対象全量が 50%に達していないので、そのうち 37%が取れている状況である。回収対象としているものに対しては、メインはリン酸態リンを晶析させて 90%回収している。残りの荒い MAP 粒子は、濃度変動があり（入ってくる量が多ければそのまま回収量が増える）、物理的に遠心力で回収している状況である。

Q5（コーディネータ）：福岡市が行っている“脱水ろ液からの MAP 回収だと流入負荷に対してどのくらい取れるのか？”という 1 割程度（8%～10%程度）の数値が出てくるが、B-DASH のリン回収技術では、その 2 倍は取れるという見積もりになるのか？

A5（古賀氏）：回収量がどれだけ多くなるか？については、自然発生的に生じる大きな MAP に依存しているところも多分にはあるが、今回の B-DASH の実績ベースでいくと、1.5 倍以上の評価である。平均値ベースでは 1.9 倍は取れている。

Q6（会場）：MAP の施設をつくりたいと思っているが、MAP をつくった後の販売先が確保できず在庫を貯めてしまうような施設では皆様の理解を得ることができない。福岡市及び神戸市で導入した MAP 施設において、どの程度の在庫があり、また、稼動していない期間がどの程度あるのか？

A6（管谷氏）：稼働率については、近年、季節運転（冬季に放流水のリン濃度を上げる運転）を行い MAP 施設が停止している期間もあり、このあたりをどう評価するのか難しい。正確な数値ではないが、稼働率は 2 割程度ではないかと思われる。それでも在庫が増えているのが現状である。

A6（古賀氏）：現在の稼働率は 25%程度である。販路としては、MAP が芝生に良いという話を学校関係者からも聞いているので、今後、芝生への利用を含めて他の用途への利用可能性について検討しているところである。

Q7：（コーディネータ）：MAP を引き取ってもらいにくい状況が出てきているのは、販売価格との折り合いが背景にあるのか？

A7：（管谷氏）：現在の販売価格 30,000 円/t が当初の 1,000 円/t であれば変わるかもしれないが、30,000 円/t を 20,000 円/t としても現状は変わらないのではないかと印象を持っている。こちらから単価を下げるというアクションは起こさないが、先方からも価格を下げたいという要望がないのが現状である。

Q8（会場）：下水汚泥から回収したリンでも工業利用の可能性はあるのか？

A8 (大竹氏) : 日本では、工業用の利用はない。ヨーロッパでは、下水汚泥からのリン回収は焼却灰からであり、焼却灰からは肥料をつくるのではなく、リン酸をつくる方向で動いている。その理由は、ヨーロッパは、非常にリサイクルに熱心であり、下水汚泥焼却灰からのリン回収は 80%を超えないと駄目だということになっている。

ドイツでは“汚泥乾燥重量の 2%を超えた場合は 50%を回収しなければならない”というように数値が非常にはっきりしている。

回収したときにそのリンを肥料用に使う場合、ヨーロッパでは人間の排出物の約 8 倍の家畜糞尿が出る、これが大きなプレッシャーになっていて、これを優先的に有機肥料にしようとしているので、肥料のマーケットに下水から回収したものがなかなか入りにくい。スイスは今年から汚泥は全量焼却してリンを回収しなければならないという法律ができたので、当初は肥料を考えていたが、これを全て止めてリン酸にして、さらに工業用までもっていく方向である。

いちばん技術的に違うのは、焼却灰には重金属や鉄・アルミが含まれているが、ヨーロッパでは、これをイオン交換で全て除去する。鉄とアルミは凝集剤で戻す。重金属だけは使えないので、これはどこかに安全に保管する。ヨーロッパの動きを見ていると、大きな都市では焼却して焼却灰からリン酸を回収する方向である。

C8 (コーディネータ) : ドイツでは、下水汚泥の場合、リンが含まれているような状態で廃棄してはいけない(ある濃度以下にしてから、やっと廃棄できる)という法律が出来つつある背景もある。

C8 (大竹氏) : ヨーロッパも EU だけでスイスを含めると 28~29 ヶ国あるが、国によって全く違う。デンマークは、下水汚泥のリンの 80%を 2018 年までにリサイクルするという事を国が決めている。リサイクルの方向性は、リンを回収するのではなく、汚泥をコンポストにして農地に還元して 80%をリサイクルするということを言っている。

ドイツ、スイス、オランダ、ベルギー等のお金持ちの国は、回収思想である。日本はドイツに近い気がする。

C8 (コーディネータ) : 外国の情報については、リンアトラス研究所のホームページにアクセスすると情報が取れるので、フォローしていただければと思う。

Q9 (コーディネータ) : 後藤先生の講演の中で MAP の使い勝手について、MAP は緩効性の特徴を持っており、そのまま使用するのが良いという話があった。後藤先生から少しコメントをいただければと思う。

A9 (後藤氏) : MAP は、水に溶けない肥料である。どのようにして土の中でリン酸、マグネシウムが吸収されるかという点、MAP 粒子に根が絡んで、そこから接触吸収される効果がある。そのような効果があるリン酸肥料は MAP 以外にない。リン酸肥料は大きく分けて、化学肥料として販売されている過リン酸石灰、これは水溶性、水に溶けると土の中の鉄やアルミニウムとリン酸鉄やリン酸アルミニウムになって肥効が悪くなる。他に、熔リンがある。熔リンは MAP と同じように接触吸収される。ただし、MAPの方が熔リンよりも吸収され



やすく、優れたリン酸肥料といえる。その特性を利用して使いたい。

なぜ、単品利用にこだわるのか、と言うと、“日本の肥料の歴史を振り返ると、窒素・リン酸・カリがブレンドされた配合肥料が普及し過ぎたために土が不健康になった”と考えており、“それを防ぐためには単品として使うことが有効である”ということ、また、化成肥料、配合肥料が農家にとって使いやすいのは良くわかるが、“加工するのにお金がかかるので、単品の方が安く供給できる”というのが理由である。

“土壌診断を実施し、リン酸の必要があるところに、できるだけ単品で供給することが良い”というのが私の考え方である。農家や業界から反論があると思うが、これは昔からの私の持論である。

MAPに限らずリン酸肥料は土壌診断の結果を見ながら施用する必要がある。「よく効く」という判断ではなく、土が不健康（メタボ化：リン酸過剰）になることは間違いないので、リン酸施用と土壌診断をセットで土を健康に保つ必要がある。

現在、下水道機構で下水汚泥の堆肥の見直し・マニュアル化をするプロジェクトが動いている。改めて最新の堆肥化プラントから出てくる堆肥の品質をチェックしてみると、従来にならぬ素晴らしい堆肥であった。上手く使えば菜種油かす（有機質肥料）と同等の効果が期待できると考えている。もう一度、下水道業界としては堆肥の見直しも必要ではないかと思っている。

C9（コーディネータ）：中都市位まではコンポストとして緑農地利用をしているが、発生する量と使用する場所のバランスでいうと大都市では難しい事情があると思う。

MAPはコンパクトになるので、運搬費用は少なく、結晶として生成される（リン、窒素、マグネシウムの純物質が析出してくる）ため、下水道の産品として農業側の人にも説明しやすいところがあるかと思う。（高度処理＋消化）→（MAP）の特性を生かしてリン資源のリサイクルが出来れば良いと感じる。

Q10（会場）：MAPは化成肥料の併用でないと使用は難しいという解釈になるのか？

A10（後藤氏）：MAPはリン酸に対して窒素が少ないので、基本的には窒素を含むもの、カリを含むものを補う必要がある。MAPのリン酸は非常に効きやすいリン酸であるので、水溶性リン酸を併用する等の必要性は全くない。

Q11（会場）：コスト削減からいうと海水中のマグネシウム利用が考えられるが、海水を採用されなかった理由は？

A11（管谷氏）：当初スタートした時点では、知見がなく海水を考えずに施設建設に進んだ経緯がある。施設稼働後に維持管理コストが課題になったとき、海水の利用を検討したこともある。コスト的にはかなり落ちるということが分かったが、全く添加量が違うため、既存施設を大幅に改造しないと使えないことも分かった。現有施設の改造は極めて困難であり、再構築が必要となる。現有施設への投資が全て無駄になるため断念した。

A11（古賀氏）：B-DASHでは、海水の利用については検討していない。

C11（コーディネータ）：過去、下水道機構において実現化に至らなかったが検討がなされ

た経緯がある。マグネシウムの維持管理費は高く大きなウエートを占めているので、海水に入れ替えることはこの技術の一つのヒントではないかと思う。

## 2. まとめ

### (1) コーディネータからコメント

- ✓ 日本における MAP 施設の導入実績は、非常に限られているのが現状である。(図-1)
- ✓ カナダ Ostara 社では、シカゴにある 200 万 t の処理場に MAP 施設(生産量 7,500 t)を導入している。また、北米・ヨーロッパで MAP 市場を開拓している。(図-2)
- ✓ このような状況を頭に入れながら、日本のこれからの下水道リン資源回収の方法
- ✓ の一つとして MAP 技術があることを確認していただきたい。今後、下水道の資源回収が進んでくれたらと思う。



図-1

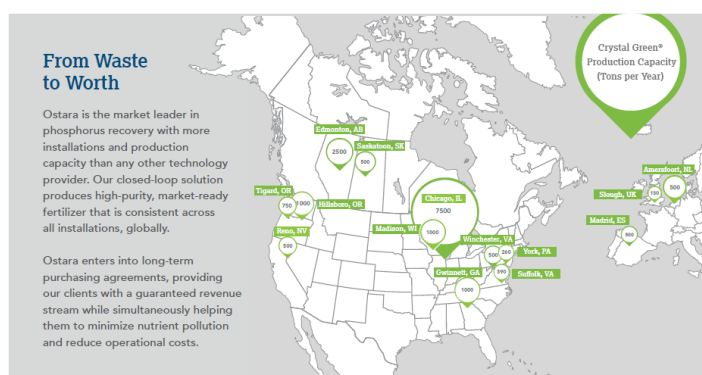


図-2 [http://ostara.com/wp-content/uploads/2018/01/Ostara\\_Ostara-Overview\\_Handout\\_180117.pdf](http://ostara.com/wp-content/uploads/2018/01/Ostara_Ostara-Overview_Handout_180117.pdf)

### (2) 各講師からコメント

◆早稲田大学総合研究機構リンアトラス研究所客員教授・大阪大学名誉教授 大竹久夫氏  
10年前はヨーロッパより日本の方がリンのことは進んでいた。2010年頃、ヨーロッパから日本のリン協議会のことについて問い合わせがあった。今では、ヨーロッパでリン協議会ができているが、日本をモデルに協議会を作ったという話を聞いた(2012年頃の話)。その後、急速にヨーロッパは前に進んでいる。カナダの Ostara 社は、今、日本には興味がなくヨーロッパに興味がある。この Ostara 社は先程紹介があったが、シカゴの処理場で MAP を製造しており、7年～9年で元が取れると言っている。世界中のゴルフ場をマーケットに持っており、一番高く売れるところに持って行くようである。

日本も大きな規模で違う分野に目を向けて、様々な分野の人と交流をすることが重要であることを言わせていただきたい。

◆東京農業大学名誉教授・全国土の会会長 後藤逸男氏

30年前から「全国土の会」という農業生産者と土と肥料の勉強をする研究会を主催している。本日は下水業界の方が多と思うが、下水業界と肥料の製造・販売者及び農業生産者の結びつきをお願いしたい。今後は、皆様の技術を農業現場に普及するための活動・研究を行うつもりである。ユーザの立場で物事を考えていくので、何かあれば、情報交換をさせていただきたいと思う。

MAPをはじめとして下水道から出てくるリン酸資材は、何が何でも我が国で使っていかなければならないと思う。業界一丸になって、リンの国産リサイクル肥料の普及を担っていかなければならない。皆様、頑張りましょう。

◆福岡市道路下水道局下水道施設部・施設整備課長 管谷悌治氏

MAP事業開始当初から参加していなかったが、今回の機会を与えていただき、改めてMAP事業20年を振り返ることができた。色々な課題を見つけることで将来につながっていけば、と考へ本日話をさせて頂いた。一自治体だけでは、なかなか上手くいかない。ユーザのことも見なければならぬし、流通の部分も重要で、全て上手くいかなければいけないのが、この事業の難しさだと思っている。逆に、これさえ上手くいけば、新しい技術がどんどん生かせる場が生まれてくるのではないかと感じた。

◆水ing(株)情報ソリューション統括・情報価値創造部部長 古賀大輔氏

皆様の講演を聞いて勉強をさせていただいた。また、MAPは肥料として“かなり魅力があるという認知が広がっていけばいいな”と考えた。

本日は、B-DASHの技術とその後の運転の状況を紹介させていただいた。共同研究の取り組みのなかで、大きなトラブルはないが、細かなトラブルは発生している。設計者として長く携わることができているので、そのトラブルを解決しながら装置をブラッシュアップ出来ているのは良い経験となっている。また、本日紹介した設備能力を超えるシステムの開発も継続して行っているため、今後も機会があれば紹介させていただきたい。

◆コーディネータ 佐藤和明

最後に、本日の研究集会在、下水道におけるリン資源回収の駆動力の一つになってくれれば良いと思う。



以上