

ENCOUNTER with MATHEMATICS

第44回

環境数理における

モデリングとシミュレーション

～数学は環境問題に貢献できるか～

2008年3月7日(金) 14:30 ~ 3月8日(土)

於：東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 5号館 5534号室

3月7日(金)

- 14:30 ~ 16:30 小規模焼却施設に対する生態影響リスク評価と汚染物質移流拡散シミュレーション
：水藤 寛氏(岡山大・環境)
- 16:30 ~ 18:00 無臭化・コンポスト微生物の発見と利用
：太田 欽幸氏(中大・理工)

3月8日(土)

- 10:30 ~ 12:00 陸域生態系モデルと地球温暖化研究
：伊藤 明彦氏(国立環境研究所)
- 13:30 ~ 15:00 大気予測のための観測データ解析とカオス性の数理的的研究
：柳野 健氏(気象庁・気象研究所)
- 15:30 ~ 17:00 バイオプロセスによる合成ポリマー分解のメカニズム解明への数学的アプローチ
：渡辺 雅二氏(岡山大・環境)
- 17:10 ~ ワインパーティー(懇親会)

別紙の趣旨に沿った集会の第44回を以上のような予定で開催いたします。非専門家向けに入門的な講演をお願い致しました。多くの方々のご参加をお待ちしております。講演者による講演内容へのご案内を添付いたしますので御覧下さい。尚、今回は応用数理研究センターとの共催です。

連絡先：112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部数学教室・応用数理研究センター

tel : 03-3817-1745

ENCOUNTER with MATHEMATICS: homepage : <http://www.math.chuo-u.ac.jp/ENCwMATH>

三松 佳彦 : yoshi@math.chuo-u.ac.jp / 高倉 樹 : takakura@math.chuo-u.ac.jp

場所にご注意下さい!!

小規模焼却施設に対する生態影響リスク評価と 汚染物質移流拡散シミュレーション

水藤 寛 (岡山大学大学院環境学研究科)

近年、我々の生活の安全と安心を保障するため、種々の環境施設、たとえば廃棄物の最終処分場、中間処理施設等のリスク評価に基づく環境アセスメントが重要になってきている。本研究の目的は、小型焼却炉の設置に際してその生態影響リスク評価を行い、わかりやすい形でそれを表示するシステムを構築することである。そのためには、指定された地形と焼却炉の条件等を用いて排出ガスの移流拡散シミュレーションを行う必要がある。そして、シミュレーションによって得られた濃度データを用いて、急性毒性、及び慢性毒性の評価を行う。講演では、このシステムの概略について述べ、汚染物質移流拡散シミュレーションについて報告する。

なお、本研究は、文部科学省リーディングプロジェクト「一般・産業廃棄物・バイオマスの複合処理と再資源化」安全性評価サブグループの研究の一環として行われた。ここに記して謝意を表す。

陸域生態系モデルと地球温暖化研究

伊藤 昭彦 (国立環境研究所・地球環境研究センター)

地球温暖化は陸域生態系の構造や機能に影響を与えられているが、それは気候に対するフィードバックや人間社会への生態系サービスの変化を意味しており、現在重要な研究対象となっている。しかし、生態系は多様な生物と不均質な環境から構成される極めて複雑なシステムであり、熱帯から寒帯まで広域を対象とするため、その全容を把握することは難しい。そこで、サイト観測ネットワークや衛星観測に加えて、数値モデルを用いたシミュレーション研究が有効な手法となる。特に温暖化問題を扱う場合には、大気-陸域間の二酸化炭素 (CO₂) 交換と生態系内部での炭素循環を軸にモデルを構築するケースが多い。生態系の正味 CO₂ 収支から、温暖化へのフィードバック効果を見積もることができる (例えば京都議定書の森林吸収源)。炭素循環には光合成、呼吸、土壌分解など多数のプロセスが関与しており、その数式表現がモデルの精度や応答性を左右する。例えば土壌温度に対する分解速度は、しばしば指数関数で表され、温暖化が進行すると加速度的に土壌有機物から CO₂ が放出されることを示唆している。ここでは国立環境研究所と海洋研究開発機構で開発された陸域生態系モデル (Sim-CYCLE と VISIT) を紹介する。Sim-CYCLE は比較的シンプルな構造をしており、温暖化予測を行うための気候モデルに組み込まれている。VISIT は生態系機能の解析を目指して、より多様な生物地球化学的プロセスを扱う詳細モデルである。これらのモデルを用いた温暖化研究の現状について紹介する。

無臭化・コンポスト微生物の発見と利用

太田 欽幸 (中央大学大学院理工学研究科)

悪臭公害は、振動・騒音について2番目に苦情件数の多い公害である。悪臭が直接人命に関わることはないが、快適な生活を送る上で、或いは生物資源の再利用の面からも早急に解決しなければならない問題である。今回は生物系の悪臭性廃棄物から発生する悪臭公害を防除し、その発生源を資源化する微生物について述べる。

演者らは、ふとした契機から完熟コンポスト(堆肥)から、悪臭性の生物系廃棄物に生育する微生物群を発見した。本菌群は、畜ふんや、生ゴミなどの悪臭性の生物系廃棄物の水抽出液に良く生育した。本菌群は、炭素源として悪臭成分の酪酸や吉草酸などを利用し、窒素源には、分子量約1万ダルトンのペプチドを良く利用する。これらは共に、作物の生育障害物質でもある。つまり、悪臭性の生物系廃棄物の悪臭成分を炭素源あるいは窒素源として資化して除去をする。この微生物群で処理をすれば、悪臭性生物系廃棄物は無臭化され、同時にコンポスト化されることが分かった。この微生物群の命名の所以である。悪臭の成分は、上記の揮発性脂肪酸だけではなく、硫化水素、メタンチオールなどの硫黄性化合物も廃棄物の臭気成分に含まれていた。上記の微生物群のなから、各種臭気成分を分解する微生物を純粋分離した。廃棄物中1g中には $10^{11} \sim 10^{12}$ cfu/gの微生物が存在する。そのような、多くの雑菌の中でどの程度の純粋な無臭化・コンポスト微生物を添加すれば、それが優勢となって無臭化が出来るPCR法を用いることによって可能になった。

さらに、各臭気成分に応じた無臭化菌をおが屑あるいは多孔性のセラミックスなどの担体に固定化して、適当な筒に詰め、脱臭用のバイオリアクターを作成した。担体に固定する菌数、水分量、臭気成分の濃度、通気量などを変化させることによって、このリアクターの性能を知ることが出来、1生細胞当たりの臭気成分の分解量なども計算できる。

以上の様に、以前は経験的あるいは‘感’で行ってきた生物系廃棄物のコンポスト化やコンポスト化微生物学に制御して処理が可能となった。

大気予測のための観測データ解析とカオス性の数理解的研究

柳野 健 (気象庁・気象研究所)

環境問題を考えるとき、気象は重大な背景要因であることに気づく。水資源の使用量は人間活動とともに増えていく。猛暑・少雨になると生活のみならず生態系へも影響する。逆転層・無風が続くと大気汚染濃度が許容値を超える可能性がでてくる。気候変動に関連して住環境不適となり、集落が廃棄される場合もある。

講演では、日本から数千 km 離れた中国奥地で発生した低気圧の動向しだいで、日本は黄砂に見舞われることや、最近頻発する都市型集中豪雨の発生・持続の解析を紹介する。そして、気象観測と予測の重要性を認識していただき、数理解析を応用して観測データの質を高める研究例を紹介する。リモートセンシングによる風解析は、悪条件の逆問題の性格を持っている。気象条件によっては、データ解析が異常になる場合がある。誤差が増幅する原因を数理的に究明することにより、解析データの質を高める方策が見えてくる。次に、流体现象のカオス性と新しい予測方法であるアンサンブル手法の事例を紹介し、カオスに潜む謎である誤差発展にまつわる研究を紹介する。カオスの初期値をわずかに変えると、やがて予測は全く異なってくる。そのため誤差発展の実態を知ることは重要である。最後に、カオスとは何か、つきつめるとエッセンスは何であるのか？ ローレンツ・カオスについて、その仕組みを解明した研究を紹介する。

〒 305-0052 つくば市長峰 1 番 1
気象庁・気象研究所・予報研究部
電話：029-853-8644
tyanagin@mri-jma.go.jp

バイオプロセスによる合成ポリマー分解のメカニズム解明への数学的アプローチ

渡辺 雅二 (岡山大学大学院環境学研究科)

化粧品や医薬部外品などの原料として用いられる水溶性ポリマーは、リサイクルや焼却処理には適さない。そのため一部は使用後河川、湖沼、海域に排出される。“プラスチック”と呼ばれる固体ポリマーも、使用後すべてがリサイクルや焼却によって処理はされず、一部は環境中でポリマーとしての形態を維持する。このような環境中に存在する合成ポリマーに対して微生物が持つ分解、資化機能あるいは合成ポリマーの成分分解性は、その不適切な蓄積を抑制する自然浄化作用の一要因となっている。また合成ポリマーの生分解性は、コンポストによる処理に対する技術開発や環境分解型被覆肥料等環境にやさしい製品製造への応用が期待されている。

微生物によるポリマーの解重合プロセスは、一般に exogenous タイプと endogenous タイプの2つのタイプに分けられる。Exogenous タイプの解重合プロセスでは、分解はポリマー分子末端に限られ、モノマーユニットが分離することによって徐々に低分子化が進む。Exogenous タイプの解重合プロセスの例として、ポリエチレン (PE) の β -酸化がある。炭化水素の代謝プロセスにより、分子末端にカルボキシル基が生成されると、ポリエチレン分子は脂肪酸と類似の構造を持ち、 β -酸化が連続して作用するようになる。PE 生分解に関してはこの理論的考察及び実験結果に基づき次のシナリオが設定された：“十分に小さい PE 分子は微生物によって直接吸収消化され、それ以上のものは直接吸収消化されるようになるまで β -酸化によって徐々に低分子化される”。このシナリオに基づく数学モデルが提案され、実験結果を導入した解析が行なわれた。[1,3,4,5,6]。PE 生分解モデルとして提案された exogenous 解重合モデルはポリエチレングリコール (PEG) の生分解性解析にも適用された [7,8,10]。

Exogenous タイプ解重合プロセスでは、ポリマー分子は分子量に関する分布域全体で徐々に低分子化されるのに対して、主鎖切断を要因とする endogenous タイプ解重合プロセスでは、分解初期段階での高分子の減少と低分子の増加が観察される。Endogenous タイプ解重合プロセスの例の一つとして、ポリビニルアルコール (PVA) の生分解がある。Endogenous タイプ解重合に関する数学モデルとしては、PVA 酵素分解に対して提案されたものがあり、このモデルを基に実験結果を導入した解析が行なわれた [2,3,9]。PVA 酵素分解モデルとして提案された endogenous 解重合モデルはポリ乳酸 (PLA) の生分解性解析にも適用された [11]。

バイオプロセスによる合成ポリマー分解のメカニズムに関する前述の数学的アプローチについて解説する。発表内容の一部は、平成 19 年度科学研究費補助金交付研究 (基盤研究 (C))、課題番号 16540106、研究代表者 渡辺雅二、研究課題名 微分方程式によるモデリングおよび逆問題の解析と数値解法) の結果として得られた。

〒 700-8530 岡山市津島中 3-1-1 岡山大学大学院環境学研究科

参考文献

- [1] Fusako Kawai, Masaji Watanabe, Masaru Shibata, Shigeo Yokoyama, Yasuhiro Sudate, Experimental analysis and numerical simulation for biodegrad-

- ability of polyethylene, *Polymer Degradation and Stability* 76 (2002) 129-135. doi:10.1016/S0141-3910(02)00006-X
- [2] Masaji Watanabe, Fusako Kawai, Numerical Simulation for Enzymatic Degradation of Poly(vinyl Alcohol), *Polymer Degradation and Stability* 81 (2003) 393-399. doi:10.1016/S0141-3910(03)00122-8
- [3] 渡辺雅二・河合富佐子, 実験結果と数値シミュレーションによるポリマー生分解性解析 (Masaji Watanabe and Fusako Kawai, Analysis of polymeric biodegradability based on experimental results and numerical simulation), *環境制御* (Environmental Research and Control), 第 25 号, 25-32, (2003).
- [4] Masaji Watanabe, Fusako Kawai, Masaru Shibata, Shigeo Yokoyama, Yasuhiro Sodate, A computational method for analysis of polyethylene biodegradation, *Journal of Computational and Applied Mathematics* 161 (2003) 133-144. doi:10.1016/S0377-0427(03)00551-X
- [5] Fusako Kawai, Masaji Watanabe, Masaru Shibata, Shigeo Yokoyama, Yasuhiro Sodate, Shizue Hayashi, Comparative Study on Biodegradability of Polyethylene Wax by Bacteria and Fungi, *Polymer Degradation and Stability* 86 (2004) 105-114. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2004.03.015
- [6] Masaji Watanabe, Fusako Kawai, Masaru Shibata, Shigeo Yokoyama, Yasuhiro Sodate, Shizue Hayashi, Analytical and computational techniques for exogenous depolymerization of xenobiotic polymers, *Mathematical Biosciences* 192 (2004) 19-37. doi:10.1016/j.mbs.2004.06.006
- [7] 渡辺雅二・河合富佐子, 数値シミュレーションによるポリエチレングリコール生分解性解析, *環境制御* (Environmental Research and Control), 第 26 号, 17-22, (2004).
- [8] Masaji Watanabe, Fusako Kawai, Numerical simulation of microbial depolymerization process of exogenous type, *ANZIAM J.* 46 pp.C1188-C1204, 2005.
- [9] Masaji Watanabe, Fusako Kawai, Mathematical modelling and computational analysis for enzymatic degradation of xenobiotic polymers, *Applied Mathematical Modelling* 30 (2006) 1497-1514.
- [10] Masaji Watanabe, Fusako Kawai, Mathematical study of the biodegradation of xenobiotic polymers with experimental data introduced into analysis, Proceedings of the 7th Biennial Engineering Mathematics and Applications Conference, EMAC-2005, Melbourne, Editors: Andrew Stacey and Bill Blyth and John Shepherd and A. J. Roberts, *ANZIAM J.* 47 pp.C665-C681, 2007. (<http://anziamj.austms.org.au/V47EMAC2005/Watanabe>)
- [11] M. Watanabe, F. Kawai, S. Tsuboi, S. Nakatsu, and H. Ohara, Study on enzymatic hydrolysis of polylactic acid by endogenous depolymerization model, *Macromolecular Theory and Simulations* 16 (2007) 619-626. doi: 10.1002/mats.200700015