

琵琶湖・淀川流域の統合環境モデルの開発



研究ノート

近藤 明*

Development on environmental models in the Biwa Lake
and the Yodo River basin

Key Words : Air quality, Water quality, Hazardous chemical substances,
Environmental dynamics model

【はじめに】

2011年3月11日に東北地方に未曾有の大地震が起こり、この地震により発生した津波により電源を喪失した福島第1原子力発電所は、水素爆発を起こし、大量の放射性物質が大気中に放出されました。このような放射性物質は、どのように環境媒体間を移動し、人間あるいは生態系に悪影響を及ぼすのでしょうか。大気中に放出された放射性物質は、風により移流され、大気の乱れにより拡散して広がっていきます。3月14日の第3号機の水素爆発発生時は、南西風が吹いており、放射性物質は南西側に飛散していきました。地表近傍に拡散した放射性物質は、大気乱流により地表へ沈着します。このメカニズムは、乾性沈着と呼ばれます。また、放射性物質が大気中を移流しているときに降雨が起こると、降雨により放射性物質は捕獲され大気中から除去され、地表に沈着します。このメカニズムは、湿性沈着と呼ばれます。ホット・スポットと呼ばれる不連続に放射線量の高い地域が生じるのは、湿性沈着によるものと考えられます。大気中の放射性物質濃度は、放出がなくなると、希釈され大気中の放射性物質濃度は、速やかに減少していきます。問題は、地表に沈着した放射性物質量が、速やかに減少しないことです。セシウムの半減期は約30年ですので、放射性物質が地表から移動しないとすると30年たって

も放射性物質量は、半分にしかありません。地表の放射性物質量は、降雨により生じる地表流と一緒に流れ、河川へ移動することにより減少するメカニズムもあります。水素爆発直後、浄水場の放射性物質濃度が高くなり大きな問題になりましたが、この現象によるものと考えられます。では今後も、放射性物質は、雨が降ると河川へどんどん流れていくのでしょうか。事故後の雨で流れなかった放射性物質は、地表面に化学的・物理的に吸着し、簡単には流れないのではないかと推測されています。また、樹木の葉・幹に沈着した放射性物質がどのような挙動を示すかについては、知見が少なくこれからの研究を俟たなければなりません。河川に流れた放射性物質は、海洋へ流れ、あるいは底質に沈降し、いろいろな環境媒体を広く範囲に長期間に汚染することになります。このように、危険な化学物質が環境中に排出されると、長期間にわたる環境問題を起こすために、事前にそのリスクを予測し対策を立てることが重要となります。

本研究室では、環境媒体中の物質の動態モデルである、気象・大気質モデル、河川水文・水質モデル、湖沼水文・水質モデル、運命予測モデルを長年にわたって研究・開発してきました。現在、これらのモデルを琵琶湖・淀川流域を対象に、統合化するための研究を進めています。統合化ができると、福島の原子力事故に対しても、予測・評価が可能になると考えています。

【研究の概要】

(1) 琵琶湖・淀川流域

琵琶湖・淀川流域は、淀川、木津川、桂川の主要3河川が流れ、総面積は8240km²です。都市域は、淀川下流域に扇状に発達しています。流域の70%以上は森林域で、琵琶湖東岸に田園域が存在してい

* Akira KONDO

1958年8月生
大阪大学工学部環境工学科卒業(1982年)
現在、大阪大学 工学研究科 教授
Ph.D(1999) 環境工学
TEL : 06-6879-7670
FAX : 06-6879-7670
E-mail : kondo@see.eng.osaka-u.ac.jp



ます。(図1参照)この流域を対象にモデル開発と検証を実施しています。



図1 琵琶湖・淀川流域圏

(2) 気象・大気質モデル

気象モデルには、WRF (Weather Research and Forecasting model) を用いています。このモデルは、雲微物理過程、積雲過程、大気境界層過程、地表面過程、放射過程のサブモデルから構成され、風速・風向、気温、湿度、降雨、日射などの気象要素を計算できます。大気質モデルには、CMAQ (Community Multiscale Air Quality modeling system) を用いています。このモデルは、WRF 気象モデルのインターフェースを備えており、移流拡散過程、ガス反応過程、液相反応過程、エアロゾル反応過程から構成され、ガス状物質 O_3 、 NO_2 、 SO_2 、粒子状物質 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ など様々な化学物質濃度と沈着量が計算できます。

両モデルを用いて、 SO_4^{2-} の越境汚染、植物起源 VOCs (Volatile Organic Compounds) 発生量推定と大気汚染濃度に及ぼす影響、MARPOL 条約附属書 VI に基づく船舶からの汚染物質排出削減の大気汚染濃度に及ぼす影響などの研究を実施しています。図2にモデルで計算した2008年の年平均 SO_4^{2-} 濃度を示します。この計算は、 SO_4^{2-} 濃度の約70%は、大陸起源であることを示唆しています。

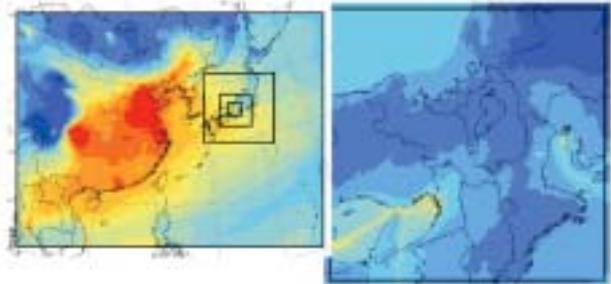


図2 2008年の年平均 SO_4^{2-} 濃度

(3) 河川水文・水質モデル

水文モデルは、流域平面を1km格子に分割し、鉛直方向にはA～D層からなる4層に分割し、A層と河道流にはKinematic Wave Modelを、B～D層の地下水流出には線形貯留モデルを用いている。また、将来の河川流量を予測することを目的に、洪水期間は制限水位に、非洪水期間は満水位を目標とするダム操作管理モデルを付加している。質量保存則を基本とする水質モデルからは、BOD、COD、T-N、T-P、SSなど以外に有害化学物質の計算もできます。

広葉樹と針葉樹のリター層の空隙率および遮断蒸発量の違いが河川流量に与える影響、界面活性剤AE (Alcohol Ethoxylates) の河川濃度、WRF・水文モデルの統合による水資源の将来予測などの研究を実施しています。水文モデルの降雨入力データは、観測値を用いるのが一般的ですが、水資源の将来予測をするためには、降雨も予測することが必要となります。図3に、WRF・水文モデルから得られた月別・年間積算降雨量と降雨量空間分布の観測値と計算値の比較を示します。計算値は、河川流量を予測するのに十分な精度を有しています。

(4) 湖沼水文・水質モデル

琵琶湖の流動モデルは、水平方向に500m格子、鉛直方向に0.5m～2m格子に分割し、運動方程式、静水圧近似式、温度の保存式から構成されるモデルを用いています。琵琶湖の水質モデルは、植物プランクトン、動物プランクトン、有機・無機窒素、有機・無機リン、有機・無機炭素、溶存酸素の化学的・生物的過程と移流・拡散過程から構成されています。琵琶湖表面での熱収支と摩擦応力の計算には、WRFの出力データを用います。また、琵琶湖へ流れこむ河川の流量、水温、汚濁物質データは、水文

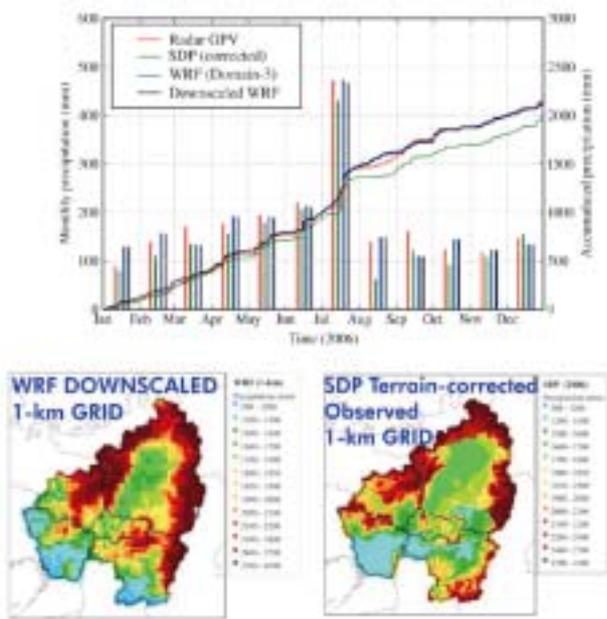


図3 積算降雨量と降雨量空間分布の観測値と計算値の比較

モデルの出力データを用います。

琵琶湖では、夏季は温度躍層により湖底が貧酸素状態となり、冬季は全層混合により湖底に酸素が供給され貧酸素状態が回復し、生態系が維持されています。地球温暖化の影響により全層混合が弱体化し、健全な生態系が維持されなくなる可能性が指摘されています。このメカニズム解明を目的に研究を進めています。図4に計算から得られた、琵琶湖の鉛直断面の夏季の温度躍層と冬季の全層混合の様子を示します。

(5) 運命モデル

容易に分解されない化学物質が環境中に放出された場合、様々な環境媒体を移動し長く環境中に存在します。研究室で開発している運命モデルは、領域を1km格子に分割し、環境媒体として大気、水域、土壌、底質を考え、大気ではガス状と粒子状の2形態、水域では溶存と吸着状の2形態、土壌と底質ではイオンと吸着状の2形態の移流・拡散過程、媒体間移動過程、沈着・沈降過程、巻上・浮揚過程、物質平衡過程などの質量保存式から構成されます。大気流データはWRFの出力データを、河川流量データは水文モデルの出力データを用います。

PRTR (Pollutant Release and Transfer Register) 化学物質の初期スクリーニング評価、ダイオキシン

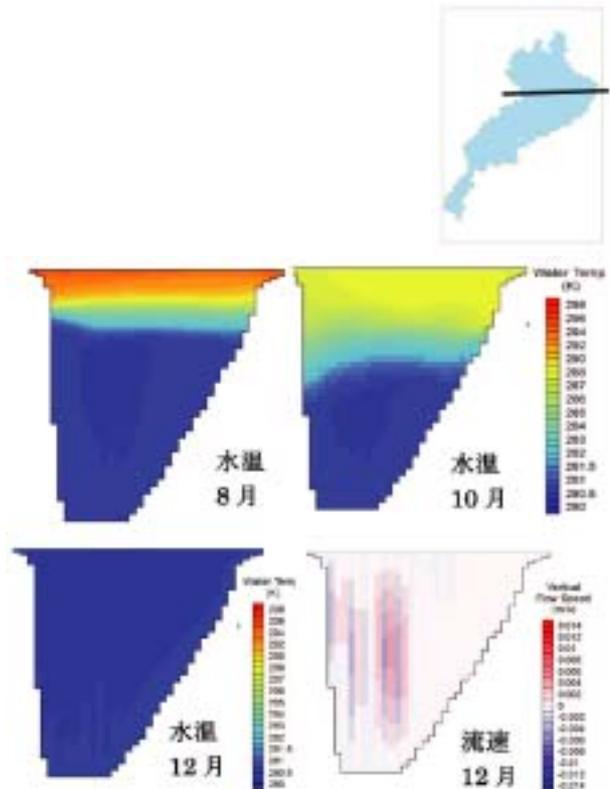


図4 琵琶湖の鉛直断面の夏季の温度躍層と冬季の全層混

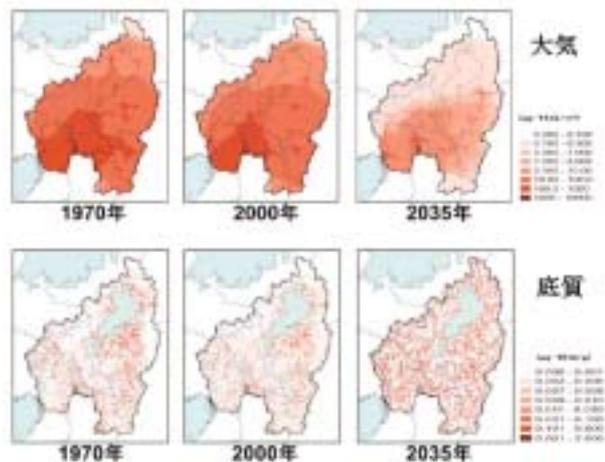


図5 大気と底質のダイオキシン類濃度の経年変化

類の運命予測、金属鉛の運命予測に関する研究を実施しています。ダイオキシン類は、1970年代に農薬の散布により主に水田に排出され、1980年代にはその使用が禁止された。その後は焼却炉から大気に排出され、1999年にダイオキシン類対策特別措置法により排出が大幅に減少しました。図5に大気と底質のダイオキシン類濃度の経年変化を示します。

2035年の大気濃度は大幅に減少するのに対し、底質のダイオキシン類濃度は減少しないことがわかります。

【おわりに】

琵琶湖・淀川流域を対象として、気象・大気質モデル、河川水文・水質モデル、湖沼水文・水質モデル、運命予測モデルの一部の成果を紹介しました。各モデルは独立しているのではなく、他モデルの出

力値を入力値として利用していることがわかっていただけましたでしょうか。しかしながら、モデル間の統合化はまだ十分ではなく、緊急事故に対する予測評価を迅速にできるシステムにはなっていません。福島の原子力事故は二度と起こってはいけませんが、このような研究に従事しているものとして、正確な情報を素早く発信できるように努めていくのが、使命と考えています。

