

氏名(国籍)	曹 紅 斌 (中 国)
学位の種類	博 士 (都市・地域計画)
学位記番号	博 甲 第 2498 号
学位授与年月日	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	社会工学研究科
学位論文題目	Researches on Risk Assessment and Management of Hazardous Water Pollutants: Case Studies in Tianjin, China (水質汚濁に含まれる有害物質のリスク評価と水質管理についての考察—天津市における事例研究—)
主 査	筑波大学教授 工学博士 谷 村 秀 彦
副 査	筑波大学教授 工学博士 池 田 三 郎
副 査	筑波大学教授 学術博士 吉 田 雅 敏
副 査	筑波大学助教授 学術博士 鄭 小 平
副 査	筑波大学助教授 博士(工学) 安 田 八十五

論 文 の 内 容 の 要 旨

本論文は、中国の重点大都市である天津市域を事例として、水質汚染物のリスク評価と管理手法を中心として研究したものである。主な研究内容は：(1) 汚水灌漑と汚泥農地還元による重金属による人体暴露評価と健康リスク評価、(2) 土壌と農地還元用汚泥に関する二つの中国の国家環境基準の設定の妥当性についての検討、(3) 中国における三つのタイプの環境管理政策の費用効率性と環境有効性についての比較分析、(4) 不均一性拡散汚染物の“ホット・スポット”問題に対応できる新たな排出権取引市場の開発、の4点である。

第1章では、関連する既存の研究のサーベイと研究目的について述べ、つづく第2章では、農地土壌中の重金属の物質収支に基づき、汚泥農地施用による土壌中重金属の濃度を推定した。さらに、中国の研究者らが行った実験のデータを使い、農作物中への重金属の移動量を推定する統計的回帰モデルを同定した。それにより、汚泥施用農地に育てられた農作物の食事摂取形態の違いによる重金属への人体暴露量が推定できる。この重金属の一日摂取量の推定値を米国EPAなどが提供した参考用量と比べることにより、人体の重金属への暴露による非発ガン性リスクを評価できる。天津市の汚泥施用地域の人体健康リスクを評価し、以下の結論が得られた。

- (1) 農村部の汚泥使用地域の人口（そこでの成育作物に全量依存すると仮定すると）に対し、カドミウム、水銀、ヒ素と亜鉛の一日摂取量はリスク参考用量を超過している。都市部一般人口と農村部の汚泥未使用地域の人口に対し、水銀、カドミウムとニッケルの摂取量は安全の範囲内になっているが、ヒ素の摂取量は超過している。この推定量に大気沈着等の他の影響も考慮すれば、亜鉛の摂取量も参考用量を超過することになり、カドミウムは参考用量に近づくと予測される。
- (2) ヒ素の農作物中の濃度は中国の国家食品衛生基準の制限値を超過していないが、食事経由のヒ素への暴露量はEPAの参考用量を超過することになり、健康リスクの長期的な影響を考慮することは必要である。
- (3) 現在の中国の「農地還元用下水汚泥中汚染物質制限基準」を満たす汚泥農地還元であっても、土壌と農作物中の重金属濃度の常時観測が必要だと思われる。

第3章では、リスク・ベネフィット分析を軸としたリスク管理原則に基づいて、従来の環境管理政策である直

接規制、排污費用徴収制度と排出権取引制度を費用効率性、環境有効性と管理上の利便さの面で比較した。さらに、排出権取引制度を中国へ応用する可能性と環境管理局の役割について詳しく議論した。事例として、天津市における15ヶ所のメッキ排水の排出する企業を現実の対象とし、直接規制、現行排污費制度と排出権取引の採用時の汚染物削減効果と削減費用を比較した。現行排污費制度の場合、クロム排出量の削減には上限があり(81.5%)、それ以上の削減が要求されれば、排污費料率の引き上げが必要となるが、しかし、料率の引き上げによる企業経済負担の重くなるのはさげられない。排出権取引の場合は、企業は汚染物削減の方式(自分処理/排出権の購入)を選択できるから、柔軟性のある環境政策となり、同じ汚染物削減目標を達成するための削減費用は直接規制より低くなる可能性が高い。天津市での金属クロム削減ケースでは、取引相手を探す費用を過去の事例より5%と設定した場合、排出権取引は、直接規制より10%の汚染物削減費用が節約できることになり、排出権取引システムの中国における広範囲の応用可能性が出てくる。

第4章では、排出権取引によって排出場所が移転することにより派生する河川流域の局部での水質基準の超過問題―「ホット・スポット現象」を克服するゾーン間排出権取引スキームを開発した。ゾーン間排出権取引は、幾つかの排出河川系(ゾーン)から構成される河川流域で、異なったゾーンに属する汚染企業間の取引を行い、取引の機会を増やそうというスキームである。このゾーン間排出権取引スキームを数理計画モデルとして表現し、取引市場をシミュレーションした。このゾーン間排出権取引スキームを天津市における20ヶ所の汚染企業のCOD削減パイロット計画に応用し、以下の結論を得ている。

- (1) 制限無しの排出権取引システムは費用効率性が一番高いが、特定の污水排出河川にある取水口の灌漑用水基準の超過をもたらす。ゾーン間排出権取引スキームはゾーン間の取引に河川系内の水質制約条件を加えたため、「ホット・スポット現象」を避けることができる。
- (2) ゾーン間排出権取引スキームは通常のゾーン内マーケット取引より費用効率性が高い。
- (3) ゾーン間排出権取引スキームはゾーン間の取引のみに水質制約条件を考慮するので、各汚染源での環境制約条件付きの取引より、管理上の簡易性、利便性があると思われる。すなわち、ゾーン間排出取引スキームにより費用効率性、水質環境保全性と管理上の利便さという3者のトレード・オフが実現できるといえる。さらに、総削減率が增加する場合、排出権取引初期配分が変わる場合とCOD削減技術が進歩する場合に応じて、感度分析が行われ、どの場合でも、得られた結論が成立すると分かる。最後の章で、本研究で得られた主な結論と今後の研究課題がまとめられている。

審 査 の 結 果 の 要 旨

中国では経済発展に伴って様々な環境汚染が発生し、深刻な問題となっており、実行可能でありかつ効果的・効率的な政策の立案と実施が求められている。本研究は、環境問題の中でも重要度の高い水質汚染物のリスク評価と管理手法に関する研究であり、中国の代表的な工業都市である天津市域を事例としてモデルの開発と管理手法の提案を行っている。第2章における、農地土壌中の重金属の物質収支に基づいて算出された汚泥施用による土壌中重金属の濃度推定は、汚泥施用地域住民の人体健康リスクがリスク参考用量を一部超過する可能性が示されており、重要な問題を提起している。第3章においては、直接規制、排污費用徴収制度と排出権取引制度を比較し、排出権取引制度が中国においても汚染物削減費用の節約のために有効に活用できる可能性を指摘していることは興味深い。第4章においては、排出権取引制度により排出場所が移転することから派生する「ホットスポット現象」を克服するために、「ゾーン間排出権取引制度」を独自に開発して提案している。また、この制度による取引状況を数理計画モデルとしてシミュレーションし、その結果を考察して政策的な意味合いを引き出している。

以上から本論文は、特に新しい分析手法や理論の提案をするものではないが、水質汚染物による環境汚染と人体健康へのリスクという重要な社会問題を対象とし、様々な観測データを活用して人体への暴露によるリスクを

推定する計量的手法を開発し、さらに、それを削減するための具体的な削減方法を「ゾーン間排出権取引制度」として提案し、その結果をシミュレーションにより考察するという社会的な貢献度の高い優れた一連の研究であると評価できる。また、モデルの構築とパラメーターの推定、それに適合する社会政策の提案とシミュレーションという一連の流れを信頼のできる数量的な手法によって開発研究したことは、著者が博士（都市・地域計画）の学位を受けるに十分な資格を持つことを示している。

よって、著者は博士（都市・地域計画）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。