

土壤汚染サイトの指定解除後の農地利用の実態とその地理的要因の解明

誌名	農業農村工学会論文集
ISSN	18822789
著者名	Huang,W. 橋本,禅 星野,敏 九鬼,康彰
発行元	農業農村工学会
巻/号	83巻1号
掲載ページ	p. 21-29
発行年月	2015年2月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



土壌汚染サイトの指定解除後の農地利用の実態と その地理的要因の解明

— 台湾彰化県を事例として —

黄 琬惠* 橋本 禪** 星野 敏** 九鬼康彰***

* 京都大学学際融合教育研究推進センター森里海連環学教育ユニット,
〒606-8502 京都府京都市左京区北白川追分町

** 京都大学大学院地球環境学学堂, 〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町

*** 岡山大学大学院環境生命科学研究所, 〒700-8530 岡山市北区津島中3丁目1-1

要 旨

台湾では、2000年に土壌汚染対策に関する法律の制定と同時に、農用地土壌汚染対策事業が着手された。2010年の法改正により、従来の土壌汚染対策の不備の多くが改善された。他方、農用地の土壌汚染対策については、対策後の作付け回復が目標に位置づけられておらず、対策後に農地の長期休耕や耕作放棄の問題が生じている。本研究では、台湾国内で汚染サイトが最も多い彰化県を事例とし、対策事業後の農地利用の現状把握と、作付けの回復に影響を与える地理的要因の解明を、現地調査と地理情報の解析により試みた。その結果、(1) 調査対象農地 521 地点のうち作付けを回復した農地は3割に達していないこと、(2) 都市的土地への立地や周辺部における汚染米検出サイトの存在は、汚染対策後の作付けの回復を遅延させる傾向があること、(3) 周辺に水田が多い地域では作付けが回復されやすいことが示された。

キーワード：作付け回復の要因、指定解除後の現状、GIS、農用地土壌汚染、台湾

1. はじめに

2000年に、台湾政府により土壌汚染問題を解決するための、「土壌及び地下水汚染整治法（以下、土汚法）」が制定された。土汚法では、全ての汚染された土地と地下水地域に適用できるように定められている。現段階、汚染サイトとして指定された土地の種類は、工場（跡地）・農地・不法投棄サイト・ガソリンスタンド・石油の地下保存タンクの5種類である。2000年から2011年まで、累計507haの農地が汚染サイトに指定された。そして、土汚法による対策事業の実施によって、2010年までに約8割の汚染サイトが指定から解除され、作付けを回復したことが認められた。

しかし、土汚法には、指定から解除された汚染サイト（以下、指定解除後の汚染サイト）の再利用や再開発に関するサポートと推進策は考慮されておらず、彰化県を対象にした研究では、指定解除された農用地土壌汚染サイトについて、現在では約8割が長期休耕していることが指摘されている（黄・中山, 2011）。ただし、8割という数値は県政府の担当者による主観であり、現地調査の裏付けがなく、実際の長期休耕の規模と所在位置については把握できていない。また、汚染サイトの指定によって休耕を行った農民へのアンケート調査では、周辺の作付け環境に関する要因だ

けが、汚染サイトの指定解除後の作付け回復に影響を与えていることが指摘されている（黄ら, 2013）。しかし、上記の研究では周辺の土地利用に関する地理的情報が考慮されていない。以上より、本研究では、汚染サイトの指定解除後の作付け回復と周辺土地利用との関連性を明らかにすることを目的とする。

具体的には、農用地土壌汚染サイトの指定解除後の作付け回復の実態を現地調査により把握する。そして、地理情報システム（GIS）を用いて、土地利用や都市計画区域などの情報が含まれる地図とオーバーレイし、統計分析を通じて指定解除後の不作付けに影響を与える地理的要因を明らかにする。さらに、それらの分析結果について考察を行い、解決策の提案を試みる。

2. 研究方法

2.1 研究対象地の概要

本研究では、農用地土壌汚染が最も深刻な彰化県を対象とした。台湾では、汚染サイトの指定が始まった2002年から2011年末までに2,016箇所（458ha）の農用地が指定を受けた（Fig.1のA）。このうち、彰化県に位置する汚染サイトは1,191箇所（303ha）に上る。実に全国の汚染サイト

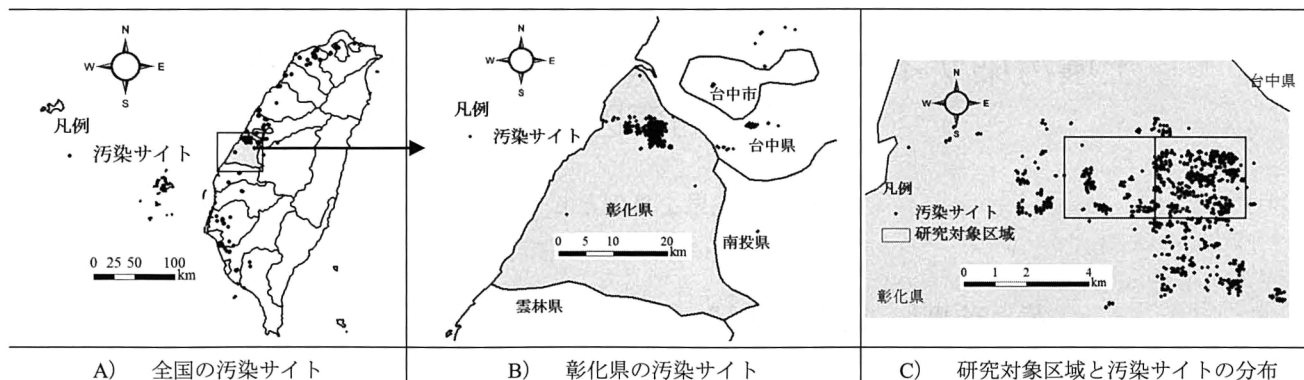


Fig.1 台湾全国と彰化県の汚染サイト分布図 (2011年)

Location of contaminated sites in Taiwan and Chang-hua (2011)

の半数以上が彰化県に集中している (Fig.1 の B)。

彰化県は台湾の中西部に位置し、面積は約 1,074km²、人口約 130 万人である。水田面積と米の生産量は台湾全国で 2 番目に多く、古来より重要な米所として知られる。また、工業も盛んであり、なかでも、金属製造業に関連する事業所数は台湾全国で 2 番目に多い。工場・事業所は県北部の市街地に集中している。しかし、それら工場の多くが農地を違法に転用したものであり、汚水浄化設備などが整備されていない(曾・陳, 2011)。重金属成分の有害物質を含んだ汚水が灌漑用水に混入し、周辺農地の土壌を汚染し、土壌汚染を引き起こしたことが指摘されている(蕭, 2009)。

2.2 データの収集

本研究の分析では、(1) 汚染サイトの位置情報、(2) 土地利用規制、(3) 2006 年の土地利用データ (政府による調査)、(4) 2011 年の指定解除後の汚染サイトの土地利用状況 (本論文による調査)、(5) 汚染米検出サイトの位置情報、の 5 つのデータを用いた。以下に、その概要を説明する。

2.2.1 汚染サイトの位置情報

行政院環境保護署が運営する「土壌及び地下水汚染整治網」(<http://sgw.epa.gov.tw/public/Default.aspx>) から、全国の汚染サイトの位置情報を入手した^{*1}。それらの位置情報は環境保護署が汚染サイトの中心点を取り、作成したポイントデータである。ダウンロードした際にすでにポイントの状態であるため、本来の汚染サイトのポリゴンは把握できない。それらのポイントデータには、汚染サイトの住所、指定面積、汚染物質、指定年、解除年等の情報が含まれている。

2.2.2 土地利用規制

汚染サイトの立地を土地利用規制の観点から分析するために、土地利用規制の情報も考慮する。台湾では、日本の国土利用計画法に相当する「区域計画法」により、国土が都市的土地と非都市的土地に 2 区分されている (Table 1)。

*1 本研究に使用した汚染サイトの位置情報に関するデータは「土壌及び地下水汚染整治網」の中国語のウェブサイトからダウンロードしたものであり、英文のページには掲載されていない。汚染サイトに関する情報は、対象農地が汚染サイトとして指定されることにつれて、環境保護署が汚染サイトの情報をウェブサイトに公表する。

Table 1 台湾の土地利用計画に関する法律と土地利用制限
Zoning stipulated by the land use planning act

区分	適用法律	用途区分の詳細
区域計画	都市的土地	都市計画法 住宅区、商業区、工業区、農業区、その他の使用区域及び特定専用区
	非都市的土地	区域計画法 特定農業区、一般農業区、工業区、農村集落、森林区、山地保育区、観光保護地、国家公園区、河川区、特定専用区

出典：黄ら (2012)

Table 2 台湾の「農業区」に関する定義
Definitions of “agricultural land” in Taiwan

区分	名称	定義
都市的土地 (都市計画法)	都市計画農業区	都市計画区域における農業生産、都市的土地と非都市的土地を隔離するための緩衝地帯、都市開発の予備地等の機能を持つ農地
	特定農業区	①優良農地、②大規模な農業投資が行われた農用地、③行政により保護措置が必要と認定された農地
非都市的土地 (区域計画法)	一般農業区	特定農業区以外の農地
	農業区	

出典：黄ら (2012) から一部引用

都市的土地の土地利用は都市計画法により、非都市的土地の土地利用は区域計画法により規制される。農地の利用規制に関しては、都市的土地には都市計画農業区が、また非都市的土地には特定農業区、一般農業区が設定されている (Table 2)。ほぼ全ての農地が、これら 3 区分のいずれかに該当する。本研究では、区域計画法により規定された土地利用規制の地理情報 (内政部宮建署城鄉發展分署, 参照 2015.1.19) を入手し、分析に用いる。

2.2.3 2006 年の土地利用データ (政府による調査)

指定解除後の汚染サイトの利用状況とその周辺土地利用との関係を解明するために、国土測量センター (2006) が作成・公表する土地利用データ^{*2}(次頁) を用いて分析を行う。

国土測量センターでは、台湾全土を 2,500m×2,500m のメッシュで 5,639 のメッシュに分割し、土地利用データ（ポリゴンデータ）を公表している。本研究では、汚染サイトが最も集中している 2 メッシュ（Fig.1 の C）のデータを用いる。土地利用データには 2006 年の土地利用の実態が記録されている。水田、畑、宅地、工場、未利用地、道路、水路、などの情報が掲載されている。ここで一つ注意すべき点は、国土測量センターが定義している畑は、休耕農地も含まれていることである。そこで、畑と休耕農地の割合を調べる必要がある。

土地利用データ「畑」の実態と定義：ここでは彰化県政府が公表した統計データを用いて、畑と休耕農地の割合を試算した。研究対象とした 2 メッシュは、行政区域では彰化県の彰化市・鹿港鎮・和美鎮の境界部に位置する。2006 年の 3 つの自治体の作付け合計面積（彰化県主計課，2006）を見ると、稲作が 5,375ha、畑作は 260ha であり、稲作と畑作の面積比は約 21 : 1 である。これより、3 地域の中心に位置している対象区域（2 メッシュ）の稲作と畑作の面積の比率も約 21 : 1 であると仮定した。

これに対し、国土測量センターの土地利用図に基づく 2 メッシュの「水田」の面積は 322ha、「畑」は 367ha と、水田と畑の面積はほぼ 1 : 1 になる。ここから、国土測量センターのデータは畑に休耕農地を含むため、実際の統計値よりも畑の面積が過大評価される可能性があるかと推察された。3 つの自治体の稲作・畑作面積の比率に基づき、研究対象の稲作の面積（322ha）をもとに畑の面積を推定するとその面積は 21 分の 1 の 15.3ha になる。つまり、2006 年の土地利用データで「畑」とされる農地の多くが、「休耕農地」に該当する可能性がある。このため、以下では、土地利用データに示された「畑」を「畑（主に休耕農地）」として記載する。

時間的要素の考慮：調査地域内において、汚染サイトの 8 割以上は 2002 年～2004 年に指定され、2004 年～2005 年に解除された農地である。そのため、指定から解除された直後の土地利用状況は国土測量センター 2006 年の土地利用調査に基づいている。また、指定解除直後の汚染サイト周辺の土地利用が如何に数年後の汚染サイトの作付けに影響を与えているかを分析するためには、2006 年以後の土地利用データが必要である。しかし、対象区域において、国土測量センターによる土地利用調査の結果は、2006 年のデータしか発行されていない。そのため、本研究では現地踏査を実施し、指定解除数年後の汚染サイトの土地利用現状を把握することとした。

2.2.4 指定解除数年後の汚染サイトの土地利用状況

本研究では指定解除数年後の汚染サイトの利用状況をデータ化するために現地踏査を行う。ただし、研究対象地で

ある彰化県の全汚染サイトの現在の利用状況を把握することは困難であるため、汚染サイトが最も集中している県北部を調査地として設定する。また、土地利用データでは、彰化県は約 150 メッシュで構成される。彰化県の汚染サイトの約 6 割（686 サイト）が、県北部の 2 メッシュに集中している（Fig.1（前頁）の C）。このうち 598 のサイトで指定が解除されている。本研究ではこれら 598 の汚染サイトを調査対象に、現地調査を行う。

現地踏査は 2011 年の 8 月に実施した。現地踏査により、指定解除後の汚染サイトの現状を、水田、畑、荒れ地、休耕農地、転用農地に 5 分類して調査シートに記録した。ここで、作付けされていないものの手入れがされている農地は「休耕農地」に、また手入れがされていない農地は「荒れ地」に分類した。

2.2.5 汚染米検出サイト

彰化県政府の担当者へのヒアリング調査では、調査対象とした 598 の汚染サイトに、汚染対策が取られ、土壤中の汚染物質の検査では基準値以上の重金属が検出されなくなったものの、耕作再開後に玄米中の Cd 濃度が「食米重金属制限基準」を超えた 19 サイトが含まれることが把握された（黄ら，2012）。「食米重金属制限基準」とは、1975 年に制定された食品衛生管理法第 10 条に基づいて定められたものである。2007 年の最新改正基準では、Cd は 0.04ppm 以下にあたる。本研究では、これらを「汚染米検出サイト」と呼び、分析に用いることにする。

2.3 分析方法

2.3.1 指定解除後の汚染サイトの現状（2011 年）とその地理的特徴

現地踏査によって把握した 2011 年の「指定解除後の汚染サイト」の利用状況と汚染米検出サイトの位置情報を地理情報システム（ArcGIS 10）に入力し、2006 年の土地利用と土地利用規制の図面とオーバーレイすることで、指定から解除された汚染サイトの立地傾向を解明する。

2.3.2 2011 年の作付けに影響を与える要因の分析

現地踏査で確認された指定解除後の汚染サイトについて、Table 3（次頁）のように、指定解除後の農地の作付け状況（2011 年）を従属変数、周辺土地利用（2006 年）、土地利用規制、汚染米検出サイトを独立変数としたロジスティック回帰分析を行う。実際の集計の仕組みは、Fig.2 に示したように、指定解除後の汚染サイトの中心点から 100m バッファ³を作成し、それぞれのバッファ圏内にある独立変数の数を集計する。ここで一つ注意すべき点は、Fig.2 に示

*3 黄ら（2012）の研究では、汚染サイトと汚染サイトの間の距離関係についてバッファ分析を行った。具体的には、汚染サイトを中心点に 100m から 900m のバッファを起し、バッファ圏内に位置する他の汚染サイトの数を集計する方法である。その結果、100m バッファ圏内に位置する汚染サイトが最も多いことが分かった。本研究では、対策後の汚染サイトの土地利用が周辺の土地利用によって影響されているかどうかを解明するために分析を行った。分析の結果が出やすいように、バッファ圏内の汚染サイト数が多いほうがよいと考えバッファ圏の距離を 100m に設定した。

*2 本研究に使用した 2006 年の土地利用データは内政部国土測量センターがリモートセンシングデータ・地形図・地籍情報・現地調査などの方法を用いて、作成した地図である。土地利用を反映した地図の閲覧はウェブ上で可能だが、分析に使用する数値データのダウンロードはセンターから購入する必要がある。

Table 3 分析項目 (ロジスティック回帰分析)

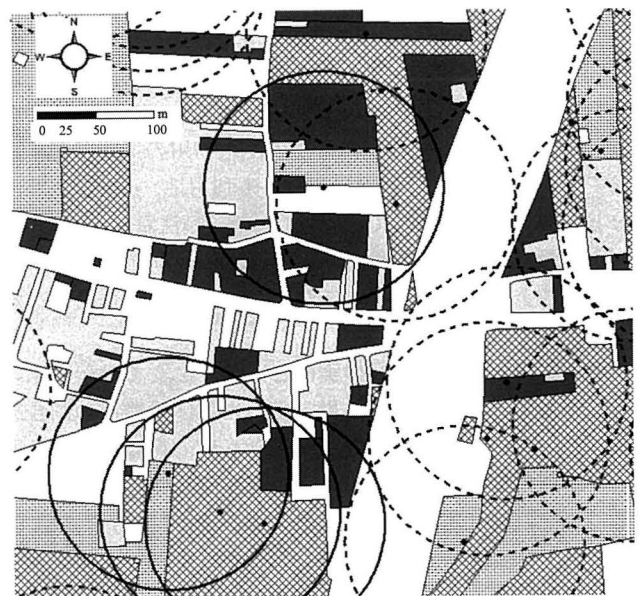
Analysis items (Logistic regression)		
変数	分析項目	指標
従属変数	指定解除後の汚染サイト	1. 指定解除後の作付け
	の作付け状況	0. 指定解除後の不作付け
独立変数	①水田	ポリゴン数
	②畑 (主に休耕地)	ポリゴン数
	③工場	ポリゴン数
	④宅地	ポリゴン数
	⑤未利用地	ポリゴン数
	⑥道路	ポリライン数
	⑦水路	ポリライン数
土地利用規制 (都市的土地・非都市的土地)	1. 都市的土地 0. 非都市的土地	
汚染米検出サイト	1. あり ; 0. なし	

したように、分析に用いる汚染サイトは一つ一つのポイントであり、農地の実際の形ではない。それら汚染サイトの面積規模を集計した結果、Fig.3 のグラフに示したように、0.2001ha~0.3ha が最も多く、0.4ha 以下の汚染サイトが 82% (428 箇所) 以上あり、1ha を超えた汚染サイトは僅か 2% (10 箇所) である。殆どの汚染サイト面積がバッファ面積 (約 100m×100m×3.14=31,400m²=3.14ha) よりも小さく、また 2ha を超えた汚染サイトも 1 箇所しかない。

これより、バッファ圏内の土地利用のポリゴンやポリラインを集計し、分析する時には支障がないと判断される。従属変数や独立変数についてポリゴンやポリラインの数ではなく面積や総距離を用いたロジスティック回帰分析も行ったが、殆どの変数で有意な標準偏回帰係数が得られなかった。つまり、指定解除後の汚染サイトに及ぼす周辺土地利用の影響は、地目別の面積ではなく土地利用の種類と数 (混在の状況) により規定されると考えられる。例えば、違法工場の面積は通常、水田や畑の面積より小さいが、農用地汚染に与える影響度は一般に大きい。

従属変数について、2011 年の利用状況が水田ないしは畑であるサイトを「指定解除後の作付け」、荒地、休耕地を「指定解除後の不作付け」として区分する。そして、指定解除後の作付けを「1」に、指定解除後の不作付けを「0」に変換する。まず、Table 3 に示された 9 項目を独立変数にあげ分析を行う。

独立変数の中の「周辺土地利用 (2006 年)」は、汚染サイトから半径 100m 圏内にある土地利用別 (①水田, ②休耕地, ③工場, ④宅地, ⑤未利用地, ⑥道路, ⑦水路) のポリゴンやポリラインの合計数値を用いる。「土地利用規制」は、当該汚染サイトが位置する地域の土地利用規制のデータを用いて、「都市的土地」に位置する場合を「1」に、「非都市的土地」に位置する場合を「0」に変換する。「汚染米検出サイト」は、半径 100m バッファ圏内の汚染米検出サイトの有・無を意味する。汚染米が検出された場合を「1」



凡例
 ● 指定解除後の汚染サイト
 ○ 指定解除後の作付け中農地
 ○ 不作付け農地
 ○ 水田
 ○ 休耕地
 ○ 宅地
 ○ 工場
 * 指定解除後 (2011 年), 作付け中農地の半径 100m のバッファを実線, 不作付け農地のバッファを破線で示した。

Fig.2 指定解除後の汚染サイトのバッファと周辺の土地利用 (一部)

The buffer zones of decontaminated sites and land use

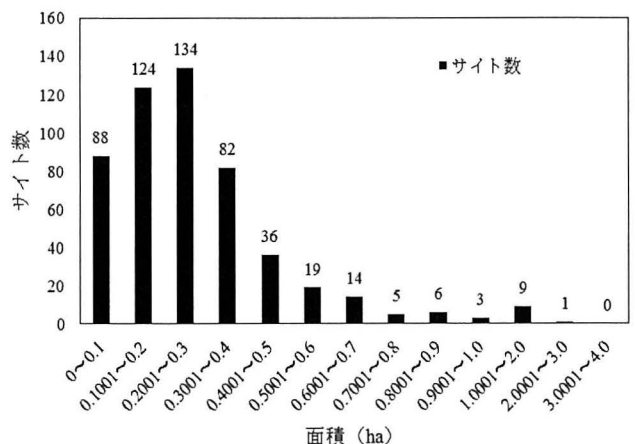


Fig.3 汚染サイトの面積規模
Area size of contaminated sites

に、検出されてなかった場合を「0」に変換する。それら独立変数を用いて、指定解除後 (2011 年) の汚染サイトの作付けと不作付けをロジスティック回帰分析により予測し、指定解除後の作付けの有無に影響を与える要因を解明する。

3. 現地踏査と指定解除後作付けの要因分析の結果

3.1 2011 年の作付け回復の現状とそれらの地理的特徴

対象区域には指定解除後の汚染サイトが 598 あるが、このうち現地踏査により場所を特定し、地目が判別できたは

凡例1：2011年筆者による土地利用調査結果

- 水田
- △ 畑
- ★ 休耕
- 荒地
- ⊕ 転用農地
- ▲ 汚染米検出サイト

凡例2：2006年政府による土地利用調査結果

- ▨ 水田
- 畑（主に休耕農地）
- 道路
- 河川水路
- 都市的・非都市的土地境界線

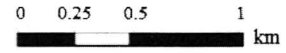


Fig.4 指定解除後の汚染サイトの土地利用
Land use of decontaminated sites

Table 4 指定解除後の汚染サイトの作付けの実態

Land use after decontamination treatment						
2011年の 利用状況	水田	畑	休耕	荒地	転用 農地	合計
地点	131	19	16	325	30	521
面積 (ha)	35	4	5.5	92.5	8	145

521 サイトであった。Table 4 に、2011 年の汚染サイトの利用状況の調査結果を示した。最も多いのは、「荒地」の 92.5ha (325 地点) で、これに水田の 35ha (131 地点) が続いた。ここから、対象区域において、対策事業の実施によって指定解除された汚染サイトのうち、2011 年に作付けが回復しているサイト (水田と畑) は 39ha あり、全調査サイトの 26.8% であった。対策事業の実施によって指定解除されたにもかかわらず、7 割以上の農用地汚染サイトは作付けしていないことが分かった。そのうち荒地の割合が特に高い。

現地踏査で把握した汚染サイトの 2011 年の利用状態 (筆者による調査) を GIS にデータ入力し、2006 年の土地利用データ図 (国土測量センターによる調査)、土地利用規制図とオーバーレイし、Fig.4 を作成した。2011 年の筆者による土地利用調査の結果を凡例 1 に、2006 年の政府による土地

Table 5 都市的・非都市的土地と 2011 年の土地利用現状のクロス集計

Cross tabulation of land use with urban area and land use in 2011			
土地利用 (2011)	都市的土地	非都市的土地	合計
水田	52	79	131
畑	14	5	19
休耕	11	5	16
荒地	228	97	325
転用	15	15	30
合計	320	201	521

利用調査の結果と土地利用規制図 (都市的・非都市的土地境界線) を凡例 2 に示す。Fig.4 によると、2011 年の土地利用別の汚染サイトは分散しているように見えるが、いくつかの傾向が読み取れる。①2011 年に水田として利用されている農地は非都市的土地 (都市計画区域境界線の左側) に最も多く見られる。これに対し、荒地となっている農地は都市的土地 (都市計画区域境界線の右側) で顕著に見られる。それらの傾向をクロス集計したところ (Table 5)、2011 年の現地調査で把握した指定解除後の土地利用が水田の場

合, その 6 割が非都市的土地に位置していた. また, 荒地の場合, その 7 割が都市的土地に位置していることが分かった. ②指定解除された汚染サイトが 2011 年に水田に回復した農地は全体的に分散しているように見えるが, 近接している状況も見られる. 特に, 2006 年では水田が多いところに, 2011 年の土地利用が水田 (46 サイト) となっている状況が多い傾向や, 2006 年では畑 (主に休耕農地) が多いところに, 2011 年では土地利用が荒地 (257 サイト) とされる傾向が見られる. ここで, クロス集計してみると (Table 6), 2006 年に水田と記録されている土地に位置している方が 2011 年に水田として利用されることが多く, 2006 年に畑 (休耕農地) に記録されている土地に位置している方が, 2011 年に荒地として発見されることが多いことが分かった. ③汚染米検出サイトの周辺に位置している汚染サイトは荒地の場合が多いように見える. これらの傾向について, 次の「3.2」で「2011 年の作付け状況に影響を与える要因」で定量的に分析を行う.

3.2 2011 年の作付け状況に影響を与える要因

分析に用いる指定解除後の汚染サイト数は, 30 サイトの転用農地を除外した 491 のサイトである. Table 7 に, ロジスティック回帰分析の結果を示した.

分析に先駆けて独立変数間の相関分析を行い, 相関係数の絶対値 $|r|$ が特に高い係数がなかったため, 多重共線性の可能性はないと判断した. そこで, 9 項目の独立変数全てを用いて強制投入法を行い, 有意でない項目を一つひとつ除外した.

その結果, 独立変数の分析では, オッズ比が 5%水準で有意な変数は 3 つ得られた (Table 7). χ^2 検定の結果は $p < 0.01$ で有意を示した. また, ロジスティック回帰モデルへの適度を検定するために Hosmer と Lemeshow 検定を行ったところ, 有意確率 $\alpha = 0.732$ であり, 求めたモデルがデータに適合していると判断できた. 判別率の中率は 73.7%である.

ロジスティック回帰分析では, オッズ比が 1 に近いほど従属変数への影響が小さく, 1 より大きいのか, もしくは小さいほど, 影響が大きいと考えられる. これによると, 指定解除後 (2011 年) 作付けを回復するか否かには, 周辺地域の「汚染米検出サイト」が最も強い影響を与えている. これに当該サイトが「都市的土地」に立地すること, 周辺地域の「水田」の多さが続く結果となった.

以上より, 指定解除された汚染サイトのバッファ圏内に「汚染米検出サイト」があった場合, または指定解除された汚染サイトが都市的土地に位置する場合には, 当該サイトで今後の不作付けが見られることを示唆している. 他方, 指定解除された汚染サイトのバッファ圏内に水田が多いほど, 当該サイトの今後も作付けが見られることを示唆している.

Table 6 土地利用データと現地調査のクロス集計

		現地踏査 (2011 年)					
		水田	畑	休耕	荒地	転用農地	合計
2006 年 土地利用 データ	水田	46	2	2	21	1	72
	休耕 農地	71	10	13	257	5	356

Table 7 ロジスティック回帰分析の結果 ($n=491$)

		The result of logistic regression analyses				
		回帰係 数	有意 確率	オッズ 比*	95%信頼区間	
					下限	上限
汚染米検 出サイト		-0.901	0.002	0.406	0.231	0.716
都市的 土地		-0.506	0.025	0.603	0.387	0.939
水田		0.313	0.000	1.367	1.221	1.531
定数		-1.192	0.000	0.304		
モデル χ^2 検定: $p < 0.01$					判別率の中率: 73.7%	
Hosmer と Lemeshow 検定: 0.732						

* オッズ比とはある事象の起こる確率を p として, $p/(1-p)$ の値をいう.

Table 8 彰化県の農用地土壌汚染対策費

Farmland pollution remediation fees in Chang-hua	
汚染サイト数	821
汚染サイト面積 (ha)	184.71
対策費*1	
土壌浄化費	1 億 6,444 万 3,900 台湾ドル (約 5 億 6,075 万 3,700 円)
土壌改良費*2	2,475 万 6,000 台湾ドル (約 8,441 万 7,960 円)
休耕補償金	824 万 7,488 台湾ドル (約 2,812 万 3,900 円)
合計	1 億 9,744 万 7,388 台湾ドル (約 6 億 7,329 万 5,600 円)

*1 2002 年 11 月から 2005 年 12 月までの合計金額. 円換算レートは 2005 年時点のもの.

*2 地力を回復するために投入した土壌改良資材の費用.

4. 考察

4.1 指定解除後の不作付けと対策費に関する検討

農用地土壌汚染対策費には「土壌浄化費」, 「土壌改良費」, 「休耕補償金」の 3 つの項目が含まれている. 土壌浄化費は土壌中の重金属を浄化するための費用, 土壌改良費は浄化後に弱った地力を回復させるための費用, 休耕補償金は事業期間中に作付けができなかった被害農民に支払われる

費用である。

Table 8 をみると、彰化県において、2005 年末までにかかった対策事業費は、およそ 1 億 9,744 万台湾ドル（約 6.7 億円）に上っている（行政院環境保護署土壤及地下水汚染整治基金管理会, 2005）。汚染者が把握できないため、それらの対策費の全てを行政院環境保護署土壤及地下水汚染整治基金管理会が負担している（黄・中山, 2011）。しかし、本研究で実施した現地調査によると、農用地土壤汚染サイトの指定解除後、わずか 26.8%の農地が作付けを回復するに止まり、67.5%の農地は、依然として荒地または休耕の状態に陥っていることが分かった。不作付けの現状を見ると、対策事業に投入した膨大な費用は、指定解除後の被害農地の作付け回復には反映されていないことが推察される。限られた国土資源の保全の視点と対策費の有効利用からみても、汚染された農地が対策事業の後に有効に利用されていないことが指摘された。

4.2 指定解除後の作付け回復と都市的土地の影響

分析の結果では、都市的土地に位置する汚染サイトは、指定解除後（2011 年）に作付けが回復されない傾向にあることが示された。その一因として考えられるのが、当該農地の土地利用規制上の位置付けである。都市的土地の農地は土地利用規制上、農地であると同時に市街化の予備地としてもみられている。そのため、本区域では農地基盤の整備がされず、非都市的土地の農地に比べて営農環境が劣る傾向にある。これらの地域では、農家の作付け継続意向は低く、作付け回復よりもむしろ他用途への転用や土地売却の意向を強く持っている。農地の転用や売却が難しい場合は、休耕や耕作放棄に繋がる可能性が高まる。県政府も、都市的土地を、農・工業の混在が顕著な区域であるため、土壤汚染が発生しやすい区域とみている。そのため、土壤汚染が多発している区域については、指定解除後の作付け回復を勧めるよりも、実施した上での休耕を推進する姿勢が強く見られる（黄ら, 2012）。

また、台湾では、故意な汚染行為を防ぐために、土壤汚染による農地の他用途への転用は厳しく制限されている。汚染された農地が都市計画区域に位置していても、対策事業を実施しない限り、転用することができない。このような土壤汚染対策と実際の利用との乖離は、対策事業を実施する前段階で関係農家の農地利用意向を考慮せず、都市的土地の可能性を無視し、他用途への転用を全面的に禁止したためと考えられる。

4.3 指定解除後の作付け回復と汚染米検出サイトの影響

ロジスティック回帰分析により、指定解除後の作付けの回復には、周囲の汚染米検出サイトの存在も大きな影響を与えていることが明らかになった。汚染米検出サイトは、全体（19 サイト）の約 68%（13 サイト）が都市的土地に見られ、非都市的土地に位置する汚染米検出サイトは 6 地点（約 32%）に止まった。ただし、いずれの汚染米検出サイトも都市的土地に近接している。また、19 の汚染米検出サ

イトから半径 100m 圏のバッファを発生させ、土地利用図とオーバーレイした結果、バッファ圏内の「水田」の面積は 21ha に対して、「休耕農地」の面積は 114ha もある。実際、バッファ圏内にあり作付けが再開された汚染サイトは平均で 1 サイトであるのに対し、作付け未回復のサイトは平均 6 サイトに上った。つまり、汚染米検出サイトの存在は、その周辺地域での作付けの再開にも負の影響を与えると考えられる。これより、汚染米検出サイトの発生は、周辺農地の所有者に汚染米の懸念を与え、作付け意欲を低下させたことが推察される。

また、汚染米の検出や再汚染の発生可能性が高い指定解除された汚染サイトは、行政院環境保護署から指定解除後の作付け回復を推進するよりも、休耕を勧めることが多い（黄・中山, 2011）。汚染対策事業で通常に用いられる稀釈工法は、日本の農用地土壤汚染対策で一般に用いられる排土客土より効果が低く（黄ら, 2012）、高汚染物質に対する浄化効果も限定的であり、農用地として利用を再開する上での危険性が指摘されている（陳・頼, 2001）。高汚染物質が検出された汚染サイトについては、より効果的な対策工事を採用することが作付けの再開を促すことに繋がると考えられる。

4.4 指定解除後（2011 年）の作付け回復と周辺の土地利用（2006 年）の影響

指定解除後の作付け回復に影響を与える 2006 年の「周辺の土地利用」に関する要因としては「水田」のみが取り上げられた。これより、指定解除された汚染サイトとその周辺に「水田」が多く分布する農地ほど、2011 年での作付けが回復されている傾向が見られる。指定解除後の作付けが回復するか否かに最も影響力を与えているのは、周辺水田の経営状態であることが分かった。同じく、周辺土地利用に関する項目の「休耕農地・工場・宅地・未利用地・道路・水路」の要因については有意ではない分析結果が出されたため、特に影響がない結果になった。

しかし、Lin et al. (2002) の地理情報システムを用いた分析では、土壤汚染の深刻さは工場の所在位置と関係があると指摘された。にもかかわらず、政府による汚染源の移転は土壤汚染対策事業の一環としては実施されていない。それ故、本地域において工場廃水による土壤汚染の問題は、近年も発生し続けている（許, 2006 ; 湯, 2013）。農業区内の汚染源の存在は、指定解除後の農家の作付けに影響を与えていると予測していたが、汚染源とされる「工場」と汚染拡大の媒体とされる「水路」の 2 項目の土地利用は、指定解除後の作付け未回復に特に影響がない結果が出た。考えられる原因としては、①被害農家は土壤汚染に関する汚染源や汚染の経路について知識、或いは危機感をもっていないこと、②本地域の農用地土壤汚染問題について、工場からの未処理の廃水が原因として指摘されたが、確実にどの工場が汚染物質を排出したかいまだに特定できないこと、③本研究に用いた工場や水路に関するデータはあくまでも位置情報であり、工場の排水における有害物質の種類・濃

度や水路の水質などに関する情報が含まれていないことが考えられる。

4.5 要因と解決策の提案

以上の結果により、本研究の対象区域において、①汚染された農地が都市的土地に立地している場合、指定解除後に作付けが回復されない傾向があること、②周辺部に汚染米の検出サイトが存在している場合、農家の作付け意欲が低下する傾向があること、③基準値以上の高汚染物質が検出された場合、汚染対策後の作付けの回復を遅らせる傾向があること、④農地の周辺に水田が多い地域では作付けが回復される傾向があることの4点が示された。

これらの知見に基づくと、本研究の対象区域において、国土資源の保全と土壤汚染対策費の有効利用を目標として指定解除後の作付け回復率を高めるために、以下の3つの方策が提案できる。第1に、都市的土地の農業区や営農環境が劣る地域では、被害農民の作付け意向を考慮した上で農地の他用途への転用規制を緩和し、今後の土地利用を考慮した対策事業を実施し、土地の有効的な利用を推進することである。第2に、被害農民の作付け回復の意向を損なわないために、現況の対策方法を見直し、汚染米の発生を防ぐことである。第3に、指定解除された農地の周辺土地利用を把握し、周辺に水田が多い農地を対象として、指定解除後の作付け回復の指導を積極的に推進することである。

5. おわりに

本研究では、台湾の農用地土壤汚染の問題について、汚染サイトが最も多い彰化県を事例として、現地調査と地理情報の分析を通じて、指定解除後の作付け回復に影響を与える地理的な要因の解明を試み、可能な解決策を提案した。

今後、解決すべき問題点としては、「4.4」でも言及したように、指定解除後の汚染サイトの作付け回復と汚染源とされる周辺の工場や汚染物質が沈積している水路との関係は明らかにできなかったことである。将来的には、対象区域における工場の位置情報・属性、水路の水質を含めた地理的情報を把握し、更なる研究を進める必要がある。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 26304034, 24780230 の助成を受けたものである。記して深謝の意を表す。

引用文献

陳 尊賢, 賴 鴻裕 (2001) : 農田土壤受重金属汚染之整治技術評

価, 台湾土壤及地下水環境保護協会第2次年会及學術研討會論文集, 1-15.

行政院環境保護署土壤及地下水汚染整治基金管理會 (2005) (参照 2014.1.9) : 土壤及地下水汚染整治資料整合與建置計畫—94 年度土壤及地下水汚染整治年報一, p.6-20, (オンライン), 入手先<http://sgw.epa.gov.tw/public/0801_AnnualReport.asp>

許 立帆 (2006) (参照 2014.2.6) : 綿米又出現 彰化県銷毀 2 萬公斤, TVBS 新聞, (オンライン), 入手先<<http://news.tvbs.com.tw/entry/359835>>

黄 琬惠, 中山 徹 (2011) : 台湾の農用地土壤汚染対策に関する研究—東アジアの稲作地域における土壤汚染対策と土地利用について その2—, 日本建築学会技術報告集, 17(35), 319-324.

黄 琬惠, 橋本 禪, 星野 敏, 九鬼康彰 (2012) : 台湾における農用地土壤汚染及び汚染拡大の実態—台湾の農用地土壤汚染の社会的背景及び対策制度の課題—, 農業農村工学会論文集, 282, 25-34.

黄 琬惠, 橋本 禪, 星野 敏, 九鬼康彰, 清水夏樹 (2013) : 土壤汚染地域における長期休耕に影響を与える要因—台湾彰化県北部を事例として—, 農村計画学会誌, 32 論文特集号, 233-238.

国土測量センター (2006) (参照 2014.1.9) : 国土利用調査成果資訊網, (オンライン), 入手先<<http://lui.nlsc.gov.tw/LUWeb/>>

Lin, Y.-P., Teng, T.-P. and Chang, T.-K. (2002) : Multivariate analysis of soil heavy metal pollution and landscape pattern in Chang-hua county in Taiwan, *Landscape and Urban Planning*, 62(1), 19-35.

内政部營建署城鄉發展分署 (参照2015.1.19) : 国土規画地理資訊図台, (オンライン), 入手先<<http://nsp.tcd.gov.tw/ngis/>>

蕭 敏雄 (2009) : 農業灌溉用水遭受重金属汚染問題之探討, 農田水利, 56(1), 6-7.

彰化県主計課 (2006) (参照 2014.1.9) : 統計年報-95 年 (農・林・漁・牧), (オンライン) 入手先<<http://www.chcg.gov.tw/accounting/07static/static01.asp>>

曾 黛如, 陳 荔芬 (2011) (参照 2012.07.11) : 我國未登録工場輔導合法化之研究, 行政院經濟建設委員會, 201-203, (オンライン), 入手先<<http://www.cepd.gov.tw/m1.aspx?sNo=0015690>>

湯 世名 (2013) (参照 2014.2.6) : 彰化電鍍廠偷排廢水 9 業者都不認汚染農地, 自由電子報, (オンライン), 入手先<<http://www.libertytimes.com.tw/2013/new/dec/24/today-life3.htm>>

[2014. 3. 5. 受稿, 2014. 11. 27. 閲読了]

[この研究論文に対する公開の質疑あるいは討議(4,000字以内, 農業農村工学会論文集企画・編集委員会あて)は, 2015年8月24日まで受け付けます。]

Factors Affecting the Re-cultivation after the Heavy Metal Decontamination Treatment

— Case study in Chang-hua in Taiwan —

HUANG Wanhui*, HASHIMOTO Shizuka**, HOSHINO Satoshi** and KUKI Yasuaki***

* *CoHHO, C-PIER, Kyoto University, Kitashirakawa-Oiwakecho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, JAPAN*

** *Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University, Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto
606-8501, JAPAN*

*** *Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University, 3-1-1 Tsushimanaka, Kita-ku,
Okayama-shi 700-8530, JAPAN*

Abstract

In Taiwan, decontamination of heavy-metal polluted land has been conducted since 2000 under the Soil Contamination Countermeasures Act. The large part of polluted-farmland has been decontaminated successfully. However, the recent study shed the light on the issue of fallow and abandoned farmland which experienced decontamination treatment. The objective of this study is to clarify the present land use of decontaminated farmland and to identify the geography factors affecting re-cultivation of farmland after the decontamination treatment. We took Chang-hua as a case study area, which is known to have the largest number and area of contaminated farmland. We conducted GIS and statistical analysis based on the field survey to identify the present use of farmland after the decontamination treatment and factors affecting the distribution of contaminated farmland and re-cultivation after the decontamination treatment. Our analyses clarified that 1) less number of decontaminated farmland sites have been re-cultivated, 2) farmland located in urbanized areas with heavily-polluted farmland in its vicinity tend to be fallowed or abandoned after the decontamination treatment, and in contrast, 3) farmland surrounded with paddy farmland tend to be re-cultivated after the decontamination.

Key words : *Factors of re-cultivation, Present land use after decontamination, GIS, Soil contamination of farmland, Taiwan*