

7・13豪雨によるイネ被害の実態と 衛星画像を利用した早期被害予測

農業生産科学科 福山利範

生産環境科学科 阿部信行

フィールド科学教育研究センター 塚口直史

2004年7月13日の前線停滞による豪雨は、1日総雨量が400mmを越える記録的なもので、刈谷田川、五十嵐川、猿橋川、中之島川などが氾濫し、破堤11カ所、決壊148カ所、越水・溢水・漏水123カ所の被害がもたらされ、これら流域の水田が最長10日間ほども冠水した。県内有数の穀倉地帯では、コシヒカリがまさに出穂する生育段階にあった。従来から、イネは3日以内の冠水であれば左程の被害は出ないと言われてきたが、被災時の生育ステージが穂孕み期で最も被害を受けやすい時期であったことに加えて、微細な泥粒子を含む泥水冠水が3日以上も続いたことが被害を大きくした。被災農家には損害補償が払われるが、これの算定基礎となる被害調査（坪刈り試験）も対象区が広大であるため、膨大な調査時間と労力・コストを必要とした。

本調査では、加茂市五反田および長岡市桂町のイネ圃場に焦点を絞り、被害の実態と衛星画像利用による早期被害予測について検討したのでここに報告する。

1. 7・13水害による農業被害

表1および2に、新潟県農林水産部が公表した8月20日確定の農業被害状況を示す。農林水産業の被

害総額は366億5千万円で、そのうち農作物被害は13662ha、48億8千万円にも及んだ。農作物被害では、イネが32億円で作物被害の2/3を占め、被害面積も10824haで全体の8割に及んだ。転換作物であるダイズも水にはきわめて弱く、冠水した圃場ではほぼ全滅し、被害額は4億7千万円に達している。

2. 加茂市五反田の圃場調査

加茂市五反田の信濃川河川敷には、畑作、果樹園が広がり、水田では稲作が行われている。7・13豪雨では、この一帯に多量の土砂と泥水が流入した。桃栽培の果樹園では、1m程の土砂が堆積している所もあった。また、水田にも多量の土砂が流入し、多い所ではコシヒカリの葉の先端がほぼ隠れる程であった（写真1）。

五反田圃場では、土砂の深さが50cm、30cm、10cmの圃場、さらに冠水期間が5日および3日の圃場を選び、合計7地点から7月28日、8月4日および11日に1株を採取し、生育の進み具合を調査した。また、完熟後に各地点から10株を採取し、収量および収量構成要素などを調査した。なお、冠水5日間の1地点（ゆきの精）を除き、栽培品種は全てコシヒカリであった。

表1 7・13豪雨による農林水産被害の状況
(新潟県農地部・農林水産部)

農林水産業被害内訳	市町村数	被害規模	被害額(億円)
農作物	67	13662ha	48.78
農業施設(生産関係)	9	833棟	4.12
農業用機械	8	1858機	20.45
農協等在庫品等	3	289トン	0.84
畜産業	12	25ヶ所	0.11
林地・林道・林業施設	61	1535ヶ所	145.04
水産業	17	768ヶ所	3.73
漁業	6	11漁港	0.04
農地	43	1989ヶ所	41.68
農業用施設(基盤整備関係)	48	3216ヶ所	97.61
生活関連施設	5	7ヶ所	4.08
総計	279		366.48

表2 農産物の作目別被害状況(新潟県農林水産部)

作目	被害額(億円)	比率(%)	被害面積(ha)	比率(%)
水稲	32.07	65.7	10824	79.2
大豆	4.7	9.6	2035	14.9
野菜	6.53	13.4	422	3.1
果樹	4.45	9.3	276	2.0
花卉	0.96	2.0	15	0.1
飼料作物等	0.05	0.0	90	0.7
その他	0.02	0.0	0	0.0
合計	48.78	100.0	13662	100.0



写真1 コシヒカリの葉先まで堆積した土砂（五反田地区）

1) 生育調査

図1には、1週間ごとに調査したSPAD値（葉の葉緑素量に対応）の推移を地点別に示した。7月28日では、土砂堆積区が冠水区よりもやや低い値を示している。28日以降のSPAD値の変化は、冠水区が減ずるのに対して、土砂堆積区はむしろ高くなる傾向が見られた。SPAD値は追肥によって高まることが知られているが、五反田地区に流入した土砂に窒素分が含まれ、これが追肥と同じ効果をもたらしたものと推定される。

図2には分けつ数の推移を示したが、サンプル数が1と少ないため精度には欠けると思われる。しか

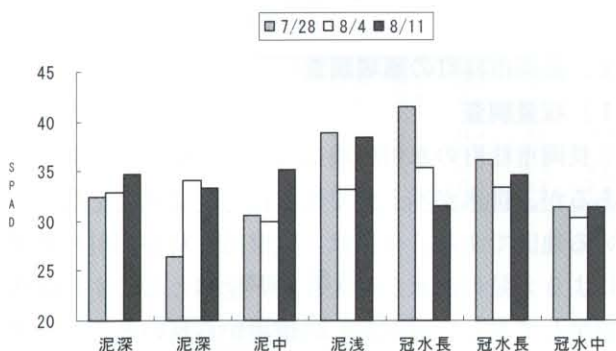


図1 五反田圃場におけるSPAD値の推移

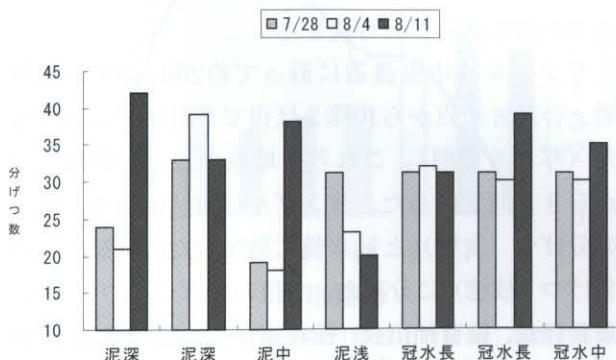


図2 五反田圃場におけるSPAD値の推移

し、比較的冠水あるいは泥堆積の被害が少なかったと考えられる泥浅区（10cm）では、生育後期に分げつが少なくなったのに対して、他の泥深区、3日以上冠水区では調査後半の分けつ数の増加が目立つ。これは、後述するように枝穂と称する被害後の新たな分けつの出現によるものと考えられる。

地際から最上位展開葉の先端まで測定した草丈の推移を図3に示した。草丈伸長での特徴は、泥浅区や冠水3日区が8月11日にかなり伸びたのに対して、泥深区および冠水5日区ではほとんど伸長していないことである。冠水5日の「ゆきの精」は、本来コシヒカリより稈長の短い品種であるが、この場合も草丈はほとんど伸びず、むしろ短くなっていた。これらは堆積土砂によって光合成器官の葉が覆われたこと、あるいは長期の泥水冠水で気孔の機能が損なわれ、被害後の光合成が極端に低下し、草丈伸長が停止したことによると思われる。

2) 完熟後の調査

9月7日に各調査地点から10株を採取した。サンプルは自然乾燥後、本来の分けつと水害後に発生した高位節からの分けつに分けた。前者を主穂、後者を枝穂と呼ぶことにする。主穂については、最長稈長および伸長節間長比を測定後、穂数、穂長、1穂粗数、1株粗数を調査した。粗摺り後、1.8mmの篩

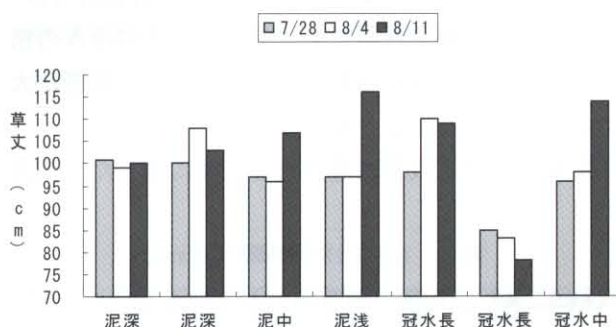


図3 五反田圃場におけるSPAD値の推移

表3 稈長および節間長比（五反田圃場）

圃場番号	品種	被害状況	稈長	節間 I	II	III	IV	V
6	コシヒカリ	土砂50cm	86.9cm	37.1%	20.3	16.0	18.9	6.3
3	コシヒカリ	土砂10cm	88.2	44.7	23.7	17.5	10.5	4.4
7	コシヒカリ	冠水5日	74.4	45.6	24.3	15.6	11.7	2.7
5	ゆきの精	冠水5日	59.7	46.4	20.9	19.1	11.6	2.0

表4 枝穂の発生率（五反田圃場）

圃場番号	品種	被害状況	全穂数	枝穂数	枝穂率
6	コシヒカリ	土砂50cm	28.0	15.7	56.0%
3	コシヒカリ	土砂10cm	18.0	1.4	7.0
7	コシヒカリ	冠水5日	22.6	5.0	21.9
5	ゆきの精	冠水5日	37.2	32.1	86.5

を用いて未熟粒を除き、整粒数と重さ、1000粒重を測定した。枝穂については1株籾数、玄米形質を調査した。なお、以下には4地点（コシヒカリ泥深さ50cmおよび10cm、冠水5日のコシヒカリとゆきの精）の結果について述べる。

表3には稈長および節間長比の結果を示した。泥深さ50cmと10cm（圃場6と3）を比較すると、稈長はともに正常に近い値であったが、前者は上位節間が短く、IVおよびVの下位節間が長くなっていた。一方、冠水5日のコシヒカリ（圃場7）は稈長が74.4cmと短かったが、節間長比は10cm泥区とほぼ同じであった。圃場5は、稈長が60cmと短い、これは品種が「ゆきの精」であることによる。これらの結果より、コシヒカリは泥堆積では下位節間が伸長し稈長の短縮は左程ではないが、5日程度の冠水では稈全体が短くなるといえる。

次に、水害後の分げつ発生による枝穂率をみると（表4）、泥50cm区では56%という高率であるが、10cm区では7%と少なかった。枝穂は主穂の稈の上から3～4節から発生しており、泥50cm区ではこの部位が泥に覆われたことで、本来は休眠している腋芽が動き出したものと思われる。この背景としては、主穂の稈実率の低下が考えられる。冠水5日区の枝穂率をみると、コシヒカリが22%に対して、ゆきの精は87%と著しく高かった。これは、冠水時の生育時期の違いによると思われる。7月13日では、コシヒカリは穂孕み期であったが、早生のゆきの精はさらに生育が進んでおり、より稈性への影響が大であったことが推定される。

主穂における収量関連形質を表5に示した。最長

表5 主穂における収量関連形質

圃場番号	穂長	1穂籾数	1株籾数	精玄米数	精玄米重	精玄米率	千粒重
6	19.5cm	107.2	1419.3	1219.6	25.8g	81.3%	21.2g
3	20.1	103.7	1471.3	973.6	20.1	65.9	20.6
7	17.6	86.5	1201.3	849.3	16.9	69.8	19.9
5	16.6	26.9	96.9	77.9	1.8	81.8	23.1

表6 枝穂における収量関連形質

圃場番号	1株籾数	精玄米数	精玄米重	精玄米率	千粒重
6	6.9	1.5	0g	-	-
3	25.8	0.5	0	-	-
7	123.6	37	0.7	31.1%	19.3g
5	805.2	701.2	15.9	81.5	22.7

表7 主穂および枝穂合計の収量関連形質

圃場番号	1株籾数	精玄米数	精玄米重	精玄米率	千粒重
6	1426.2	1221.1	25.8g	78.6%	21.1g
3	1497.1	974.1	20.1	52.3	20.6
7	1324.9	886.3	17.7	50.5%	19.9
5	902.1	779.1	17.7	81.6	22.7

稈の穂長は泥堆積区に比べて冠水で短く、その結果1穂籾数、1株籾数も少なくなっていた。とくに、冠水5日区の「ゆきの精」は出穂直前であったため、穂の痛みが激しく1穂籾数が27と極端に少なかった。精玄米重も1.8gときわめて少なかった。一方、精玄米率や千粒重ではこれら4圃場間で籾数ほどの大きな差は認められなかった。

つぎに、枝穂の収量関連形質を表6に示した。先の表4では圃場6（コシヒカリ、泥深区）の枝穂率は56%と高かったが、完熟後の調査では枝穂の識別が困難で表6の数値は明らかな枝穂についてのものであり、正確さには欠ける。コシヒカリでは精玄米率が30%以下と極端に低く、ほとんど収量の補填にはならなかったと思われる。一方、冠水5日の「ゆきの精」では、精玄米率が81.5%と高く、早生品種の場合はこうした枝穂がある程度収量を補填できたと推定される。

最後に、表7に主穂と枝穂を合計した結果を示す。この表の精玄米重は、ほぼ単収に匹敵すると考えられるが、泥堆積区に比べ冠水で低収となっていた。「ゆきの精」（圃場5）は精玄米率が82%と高いにも関わらず低収であったのは、先述のように枝穂が多かったことによると思われる。枝穂の穂長や粒数は測定していないが、ほとんどが短期間で形成されたことから穂サイズが小さく、1穂粒数も少なかった。

2. 長岡市桂町の圃場調査

1) 収量調査

長岡市桂町の水田圃場は大区画整備された美田であるが、排水が不十分で数年に一度は水害を受けている地区である。今回は、猿橋川と刈谷田川の破堤により大量の泥水が浸入した。全体としてすり鉢状を呈しており、冠水無しの圃場から長いところでは10日も水が停滞した圃場もある。豪雨6日後の7月19日に現地を視察したが、大部分の圃場がまだ一面海の状態であった（写真2）。

サンプルは中央農道に沿って約200～300m間隔で、合計8地点から10株2反復で9月10日に採取した（写真5参照）。これら8地点の冠水日数は0日から8日間であった。サンプルは自然乾燥後、本来の分げつ（主穂）と冠水後に発生した高位節からの分げつ（枝穂）に分けた。主穂の分げつについては、最長稈長、穂首抽出長（穂首節から止葉の葉節まで）および伸長節間長を測定後、穂数、穂長、1穂籾数、



写真2 長岡市桂町の調査圃場：7月19日撮影

1株粉数を調査した。粉摺り後、1.8mmの篩を用いて未熟粒を除き、整粒数と重さ、1000粒重を測定した。枝穂についても稈長、伸長節間長以外は同様の調査を行った。

調査圃場の全域から水が引いた7月24日のスポット5号（仏）による衛星画像を入手し、画像解析用に供した。

表8には、8地点における稈長、穂首抽出長および節間長比を示した。8圃場の冠水日数は1番圃場（以下、No.1と書く）が5日、No.2と3が8日と

表8 主穂（主分げつ）の稈長、穂首抽出長および節間長比（上位からⅠ～Ⅴ）

圃場番号	冠水日数	稈長	穂首抽出長	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
1	5	74.2cm	4.9cm	42.0%	26.4	15.3	9.9	6.8
2	8	69.3	6.0	44.6	25.8	12.0	15.0	3.6
3	8	64.9	6.2	48.9	23.7	9.2	16.9	1.3
4	7	67.2	6.1	48.7	26.5	14.8	9.3	0.4
5	5	68.9	4.7	45.4	19.2	12.8	21.6	1.8
6	5	97.4	11.3	40.4	24.1	17.7	10.5	8.7
7	3	84.4	9.6	42.2	24.3	17.3	12.6	2.7
8	0	78.7	6.0	44.6	22.0	21.1	12.6	0.0

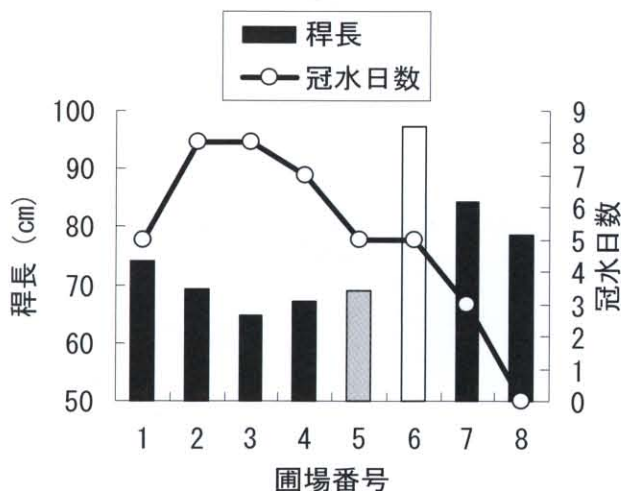


図4 8圃場における冠水日数と稈長との関係：品種コシヒカリ、ただし5は「こしいぶき」、6はコシヒカリで栽培方法が異なる。

最も長く、No.4が7日、No.5と6が5日、No.7が3日、そしてNo.8はほとんど冠水しなかった。栽培品種は「こしいぶき」のNo.5以外は、いずれも「コシヒカリ」である。ただし、No.6は過剰生育による倒伏を避けるために、中干しの時点で1条おきに刈り込んであったので他の圃場とは栽培条件が異なっている。

稈長は65cmから97cmの圃場間差異が認められた。冠水日数との関係は図4に示したが、冠水日数が長いと短稈となっていることがよく判る。No.5は「こしいぶき」であり、この品種は遺伝的に「コシヒカリ」よりも短稈である。また、No.6も上述のように栽培様式が異なっているので、除外して考えてよい。節間長比をみると、冠水日数0日のNo.8をほぼ正常と考えると、冠水日数の長い圃場では下位の節間が伸びていた。これは、穂孕み期のコシヒカリが冠水し、本来伸びるべき上位節間の伸長が抑制され、相対的に下位の節間長比が高くなったものと思われる。

つぎに、表9に主穂の形質を示した。穂数は約半分に減少していた。穂長は図5にも明らかなように冠水によって著しく短くなっていた。また、写真3にあるように一次枝梗の退化など異常形態を示す穂

表9 枝穂の諸形質

圃場番号	冠水日数	穂数	穂長	粒数/穂	粒数/株	整粒数	整粒重	整粒率	千粒重
1	5	11.5	17.1cm	96.8	888.6	286.7	5.8g	32.2%	20.0mg
2	8	11.3	15.4	71.7	705.8	400.3	8.0	54.1	20.2
3	8	15.4	15.4	66.8	698.5	289.3	5.4	42.0	18.4
4	7	11.2	17.2	106.0	659.3	311.0	6.2	47.2	20.0
5	5	22.4	17.8	105.6	1689.7	1029.1	20.8	60.9	20.2
6	5	33.3	18.4	103.1	2611.4	1826.4	38.3	68.9	21.1
7	3	23.4	17.1	89.8	1547.6	1353.7	29.2	87.8	21.5
8	0	22.9	18.8	117.1	1845.0	1407.0	30.3	76.7	21.6

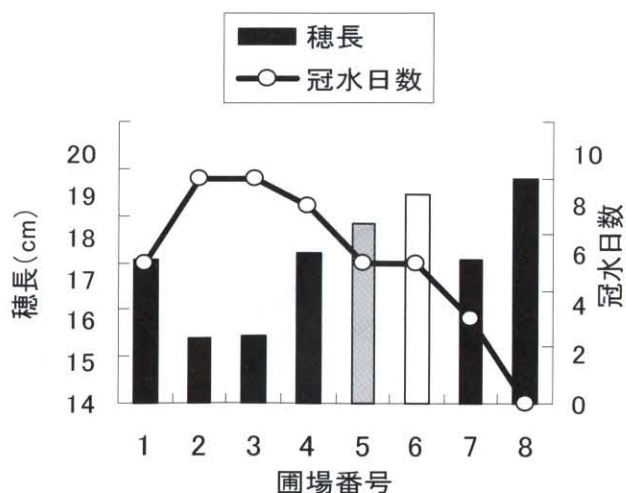


図5 穂長と冠水日数の関係



写真3 異常形態の主穂（右4穂）と枝穂（左4穂）

が多かった。したがって、1穂粒数、1株粒数も著しく低下している。水が退いた後、受精・登熟した穎果でもきわめて生長が異常で、1.8mm篩による整粒歩合は冠水5日以上で32.2%~60.9%と低かった。No.1は冠水日数が5日であるが整粒歩合が最も低かった。この圃場は、猿橋川の破堤箇所から最も近い位置にあり、流入した水が他に比べてより濁って

表10 枝穂の諸形質

圃場番号	冠水日数	穂数	粒数/株	整粒数	整粒重	整粒歩合	千粒重
1	5	8.4	457.3	82.1	1.6g	10.7%	19.1mg
2	8	11.5	414.6	135.0	2.7	34.5	20.4
3	8	9.5	243.2	39.5	0.7	23.2	18.6
4	7	14.1	426.1	158.0	3.3	36.1	21.1
5	5	4.7	131.7	47.7	0.9	35.1	18.6
6	5	0	-	-	-	-	-
7	3	0	-	-	-	-	-
8	0	0	-	-	-	-	-

表11 主穂および枝穂を合わせた収量関連形質

圃場番号	全穂数	枝穂率	粒数	整粒歩合	千粒重	精玄米収量/株
1	19.9	42.1%	1300.9	26.0%	19.9mg	7.0g
2	22.8	50.4	1082.4	45.8	20.2	10.3
3	24.9	38.0	941.7	36.5	18.4	6.1
4	25.2	55.8	1085.4	42.7	20.4	9.5
5	27.1	17.2	1812.5	59.2	20.1	21.6
6	33.3	0.0	2611.4	68.9	21.1	38.3
7	23.4	0.0	1547.6	87.8	21.5	29.2
8	22.9	0.0	1845.0	76.7	21.6	30.3

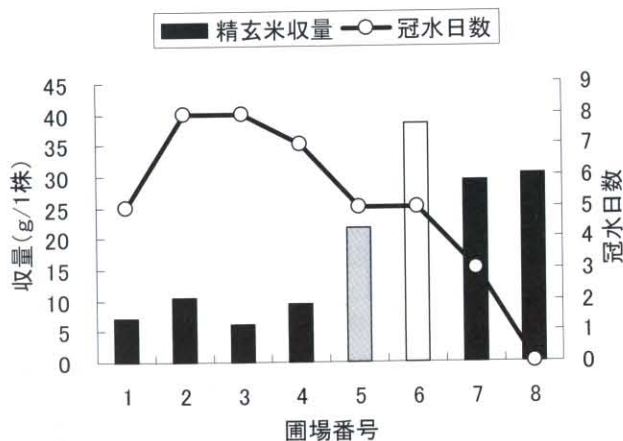


図6 1株収量と冠水日数の関係

いたことによると思われる。

表10には、枝穂の調査結果を示した。主穂分げつの上位3~4節から退水後発生した枝穂分げつは、主穂の稔実が悪く光合成産物の受け入れが低下したため、過剰の炭水化物が蓄積され、本来は休眠している腋芽が生長したことによると推定される。このような枝穂は冠水5日以上で17%~56%出現した。しかしながら、退水後短期間で形成され受精・登熟したため、穂の大きさもきわめて小さかった。1穂粒数は計測していないが、1株粒数は132~460と主穂（660~2600）に比べ極端に劣っている。また、整粒歩合も11%~36%と低く、被害を受けた主穂の損失を補償するものではなかった。

表11には、主穂と枝穂の合計を示した。1株穂数は枝穂で補充されているが、粒数では2倍以上の差があり、整粒歩合も26%~88%と大きな差異が認められ、これらの結果から1株の精玄米収量は6.1g~38.3gとなり、冠水日数の長い圃場では1/5以下の収量となった（図6）。

2) 泥冠水後の葉

今回の水害は大量の土砂が圃場に流入し、しかも停滞した水の濁度の高いことが特徴であろう。記録的な豪雨により上流の山地での斜面土砂崩壊が顕著であったこと、ダムなどの貯水池あるいは河川底面に大量の土砂が蓄積されていたことなどが原因としてあげられよう。泥水が退いた後のイネ葉身は、例え泥が表面に付着していたとしても、その後の降雨で洗い流されるように思える。しかしながら、かなり日にちを経過しても葉の汚れは減ずることがなかった。そこで、金沢大学理学部の田崎和江教授のご

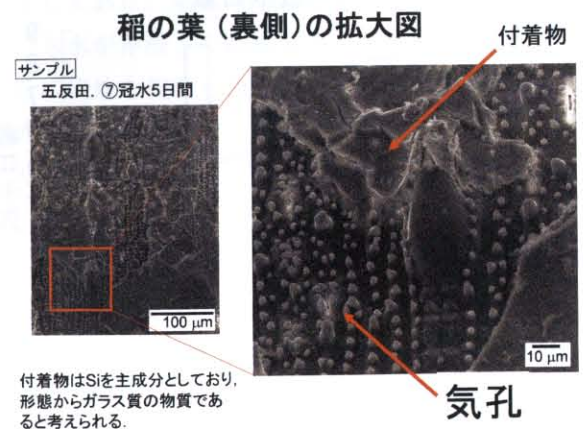


写真4 泥が付着した葉の裏面：SEM観察
（金沢大学理学部・田崎和江）

協力を得て、泥水を被った葉の表面微細構造を走査電子顕微鏡で観察した。結果を、写真4に示す。ここにあるように、葉の表面は土の微粒子でほぼ一面に覆われていた。葉の表面には多くの突起物があり、これらが泥の執拗な付着を保ったと思われる。光合成・呼吸に必須の器官である気孔も泥に覆われているか、開閉機能を消失していると思われる形状を呈していた。したがって、水が退いた後でも正常の光合成が行われず、収量の回復が不可能になったと思われる。

3) 衛星写真の画像解析と収量調査との統合

桂町の調査圃場の全面から水が退いた7月24日にフランスの人工衛星「スポット5号」撮影による写真を手に入れた(写真5)。分解能は10mx10mという高精度である。図8は、フォールスカラー図であり、植生域が赤く表示される。7月の稲も赤く表示されるが、桂町の冠水地区では、青く表示されている。これは冠水の影響を受けた稲が植生本来の反射値を示していないことを意味している。解析システムはErdas (Ver.8.7) を使用した。

(1) 収量と反射値との関係

写真5に収量(1株当たりの平均収量)を調査した箇所を示した。この箇所から140~300ピクセルの平均反射値を調べ、その結果を収量とともに表12に示した。

次に、反射値と収量との関連を調べた。なお、既述のように圃場No.6は栽培方法がかなり異なっ

いたので、この解析からは除外した。図7に示したように、バンド4の反射値と1株収量は相関係数(r) = 0.981ときわめて高かった。収量をYとした回帰式を求めたところ、 $Y = 1.065X - 75.459$ となり、この回帰式の説明量は $R^2 = 0.963$ であった。すなわち、7月24日撮影画像のバンド4の反射値で9月収穫時の収量を高い精度で予測できることになる。ちなみに、この収量予測式で反射値65~75および86~90に相当する圃場を抽出した結果を図8に黄色で示した。反射値65~75は冠水期間が最も長い地域を表し、回帰式から求めた収穫量は4.42グラム以下である。一方、反射値86~90は冠水の影響が少ない地域であり、収穫量は16.1~20.4グラムと予想される地域である。図7にあるように、衛星画像の反射値と収量との関係式を用いるならば、広域の被害程度を災害後早期に推定することが可能である。今回の水害を補償するために、関係機関は2万筆にも及ぶ圃場で収量調査(坪刈り)を行っている。これは、膨大な時間と労力・コストを必要とするものである。したがって、今回の調査で得られた収量予測式の利用は今後の災害時にきわめて有効と思われる。

今後の課題としては、予測精度を高めるために、被災後どのような時期の画像を用いるか、イネの異なる品種あるいは異なる作物ではどうなるか、さらには被害予測だけでなく、作物の生育状況の把握と

表12 収量とバンド3, 4の反射値

圃場番号	収量	バンド3	バンド4
1	7.0	125.47	74.92
2	10.3	119.73	79.80
3	6.1	135.26	80.33
4	9.5	124.77	79.89
5	21.6	114.74	91.40
6	38.3	110.48	87.60
7	29.2	112.28	97.46
8	30.3	102.36	99.11



写真5 長岡市桂町圃場（通称：八丁潟）の衛星画像と調査地点

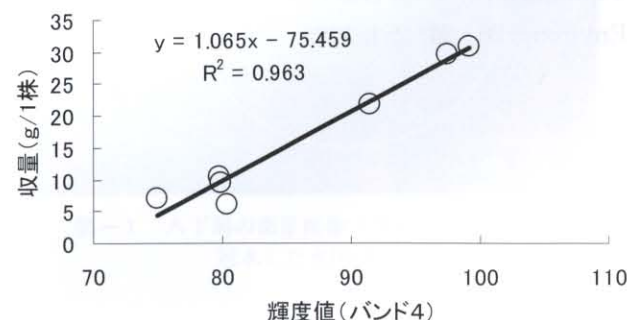


図7 衛星画像の輝度値と収量の関係および収量予測式

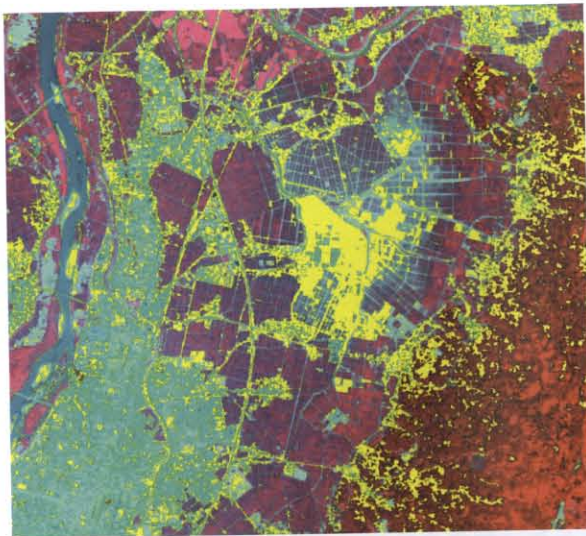


図8 収量予測式から1株4.4g以下(左)および16.6~20.4g(右)の収量地点を抽出した例(黄色部分)

栽培管理への提言などを検討すべきと思われる。

4. むすびにかえて

今回の調査では、水害で壊滅的な被害を受けた五反田地区および桂町地区の農家から、快く調査資料の提供をいただいた。とくに、長岡市農業委員であり地元桂町圃場で大規模に農業を展開されている加藤尚登氏には一角ならぬお世話になった。これらの方々に厚くお礼申し上げます。この地域は、豪雨被害が覚めやらぬ10月23日の中越地震でも甚大な被害を受けた。今後の早期復興を心からお祈り申し上げます。

長岡地域振興局および三条地域振興事務所には様々な資料および情報の提供をいただいた。記して、感謝申し上げます。

本稿では、まだ解析が完了していない部分もあるが、これらについては別の機会に発表したい。

引用文献

秋山 侃・福原道一・斉藤元也・深山一弥；農業リモートセンシング—環境と資源の定量的解析—、養賢堂、166pp, 1996

Yamagata, Y. and Akiyama, T. ; Remote Sens. Environ. , 26 : 241-251, 1988