7.13水害による土砂流入水田の土壌調査と水稲窒素吸収予測プログラムの作成

応用生物化学科　尾和尚人
応用生物化学科　末吉　邦
フィールド科学教育研究センター　高橋能彦

はじめに

水田への土砂流入の影響を調査するため、当グループは平成16年11月８日に見附市池之島・太田地域および長岡市浦瀬地域を中心として、土壌調査と分析用試料採取を実施した。いずれの調査地とも破堤箇所に近く、水田への土砂流入の影響が著しい場所である。この地域では、流入土の理化学性や肥沃度の面から次年度の水稲生育に対する影響が懸念されている。そのため、当グループは、流入土の理化学性調査と土砂流入水田からの水稲窒素吸収予測プログラムの作成に取り組んだ。

１．調査地の概要

１）見附市池之島・太田地域

見附市池之島・太田地域における調査水田は、いずれも稚児清水川および刈谷田川の破堤地に近い（図１，２）。池之島地域、稚児清水川右岸の破提箇所付近において、土砂堆積が顕著に認められたのは、破提箇所から比較的近い範囲であった（写真１および図２，地点①付近）。表１に示すように、地点①における流入土砂深度は25cmであり、太田地域に比較して浅い。また、地点①における流入土砂の土性は、表土および下層ともに軽埴土で一致していた。

図１． 見附市試料採取地の広域図
調査地を□で示す。

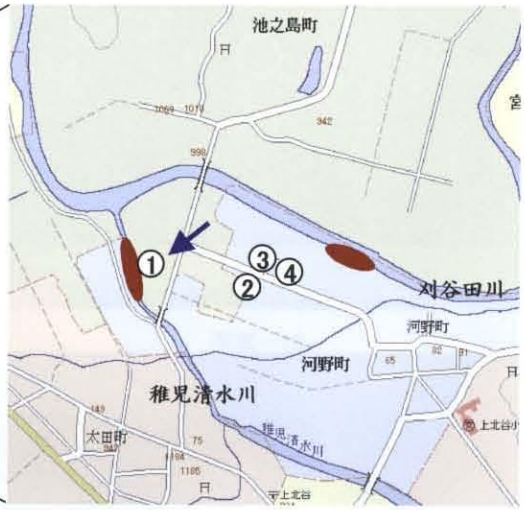

図２． 池之島・太田地域の試料採取地点
破提箇所を●で示す。この地域では刈谷田川左岸と稚児清水川両岸が破提した。流入土の採取地点を①～④で示す。地点④を除いて、表土（０～５cm）とその下層15～20cmの土を採取した（表１）。

写真１． 稚児清水川右岸の破堤箇所
図２の青矢印の方向から決壊地点を撮影した。写真上の①は図２の地点①と同じ位置である。

刈谷田川左岸の太田地域では、流入土が広い範囲にわたって堆積しており、地点④では深度が70cm近くにも達している（図２，地点②～④）。地点②および③においては、表土に粒子の細かな粘土およびシルトが、下層には細砂が多く含まれていたことから、土砂を運んできた氾濫水が長時間この地域に滞留したことを示唆している（表１）。しかし、道路脇の地点④では、表土においても細砂と粗砂で構成される砂壌土となっており、地点②および③との土性とは明らかに異なっている。この差異の要因は、道路脇における氾濫水の複雑な動きにあると思われる。

表１． 流入土砂の粒径組成および土性

単位　%

採取地域	採取地点番号	流入土砂深度	採取土層	粘土	シルト	細砂	粗砂	土性
池之島	①	25cm	表　土	35.2	36.1	28.5	0.1	LiC（軽埴土）
			15～20cm	35.4	42.6	21.9	0.1	LiC（軽埴土）
太　田	②	34cm	表　土	37.8	47.2	14.7	0.2	SiC（シルト質埴土）
			15～20cm	20.9	24.5	53.7	0.9	CL（埴壌土）
	③	38cm	表土	39.6	41.3	18.9	0.2	LiC（軽埴土）
			15～20cm	30.3	18.4	51.6	0.3	LiC（軽埴土）
	④	66cm	道路脇表土	3.0	12.7	71.1	13.3	SL（砂壌土）
浦　瀬	⑤	12cm	表　土	47.1	46.9	6.0	0.0	HC（重埴土）
	⑥	測定せず	表　土	27.9	25.1	46.9	0.0	LiC（軽埴土）
	⑦	測定せず	表　土	4.2	4.5	23.0	68.2	LS（壌質砂土）

表土は０～５cmとした

２）長岡市浦瀬地域

長岡市浦瀬地域においては、浦瀬川および猿橋川が決壊し、この地域（通称八丁沖）の最大990ヘクタールにおよぶ水田および大豆畑が１～８日間冠水した。この地域では浦瀬川の決壊箇所に近い水田の３箇所（地点⑤～⑦）において調査を実施した。

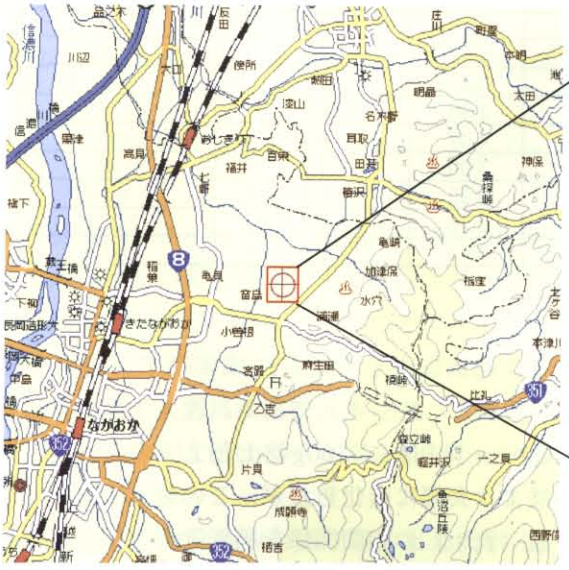

図３． 長岡市試料採取地広域図
調査地を□で示す。

図４． 長岡市浦瀬地域の試料採取地点
破提箇所を●で示す。この地域では浦瀬川と猿橋川が決壊した。流入土の採取地点を⑤～⑦で示す。各地点とも表土のみ採取した（表１）。

写真２は、図４に示す採取地点⑤の土壌表面を撮影したものである。この地点の土性は、粘土およびシルトを多く含む重埴土であり（表１）、試料採取時には流入土層のみ乾燥によってひび割れていた。

一方、地点⑥および⑦の表土は、それぞれ軽埴土および壌質砂土となっており、決壊箇所に近づくほど砂質成分が多くなっている（写真３，表１）。

写真２． 浦瀬地域水田の表土
図4に示した地点⑤の表土を撮影した。

写真３． 浦瀬川の決壊箇所付近の水田
図４に示した青矢印の方向から地点⑥および⑦の方向を撮影した。

２．流入土の理化学的特性

被災した水田の復旧対策の方法や次年度の施肥体系を策定するためには、水田に流入した土壌の化学的特性を明らかにすることが必要である。今回の調査では、流入土の粒径組成、pH、可給態窒素およびバイオマス窒素を測定した。結果は表２に示した。

表２　流入土壌の理化学的特性

採取地域	採取地点番号	土　層	土　性	水素イオン濃度		可給態窒素	Biomass N
				pH(H_2O)	pH(KCl)	(mgN/100g乾土)	(mg/100g乾土)
池之島	①	表　土	LiC	4.61	3.95	8.1	8.75
		15～20cm	LiC	4.90	4.15	11.0	4.39
太　田	②	表土	SiC	4.64	3.92	8.7	nd
		15～20cm	CL	4.70	3.98	3.1	nd
	③	表　土	LiC	4.79	3.98	4.5	3.78
		15～20cm	LiC	4.80	4.07	4.3	nd
	④	道路脇表土	SL	4.81	3.90	1.2	0.58
浦　瀬	⑤	表　土	HC	4.90	3.92	2.5	nd
	⑥	表　土	LiC	4.62	3.76	1.2	2.27
	⑦	表　土	LS	4.37	3.69	0.6	nd

水田土壌のpHはpH（H_2O）で５～６、pH（KCl）で４～５の範囲のものが大部分であるが、流入土のpH（H_2O）は4.37～4.90、pH（KCl）は3.69～4.15であり、いずれのpHも水田土壌に比べて低い。この原因は明らかではないが、流入土採取時期が土壌流入後４ヶ月を経過しているので、その間に流入土中のある種の成分が分解して生成した物質に起因するものと推定される。

可給態窒素は、風乾細土を水田状態にして、30℃で４週間培養した時に生成するアンモニア態窒素（4W30℃　NH_4-N）である。流入土壌の可給態窒素は0.6～11.0mgN/100g乾土と土壌の採取地点や土層により大幅に変化したが、この値と土壌中の粘土組成（表１）の相関関係を線形近似、指数近似および累乗近似した結果、それぞれのR^2は0.304、0.499、0.530であり、高い相関関係は認められなかった。しかし、浦瀬地区を除いて相関関係をみると、それぞれのR^2は、0.533、0.791、0.762であり、比較的高

い相関関係が認められた。図5には、最も高い相関関係が認められた指数近似の結果を示した。このことは可給態窒素の供給源が粘土と結合した物質であるか、あるいは流入時に粘土と同様な動きをする物質に由来していることを示している。つぎに、可給態窒素と同様な操作で試験開始時の土壌水分を採取時と同程度に保持した場合、すなわち生土について試験した場合には、4週間のNH_4-N生成量は風乾土の場合に比べて減少する。土壌の可給態窒素は、生土に比べて風乾処理によって増加することが明らかにされており、この現象は乾土効果と呼ばれている。乾土効果による可給態窒素の増加量は、湛水直前の土壌水分によって決定され、乾燥が進んで土壌水分が低くなるほど多くなる。次年度の施肥設計を立てる場合には、この現象を考慮して対応する必要がある。参考までに、新潟県農業総合試験場の調査結果によると、生土を培養した場合のNH_4-N増加量は可給態窒素（4W30℃　NH_4-N）の0.3～0.7倍に減少し、流入土壌によってかなりの変動がある。

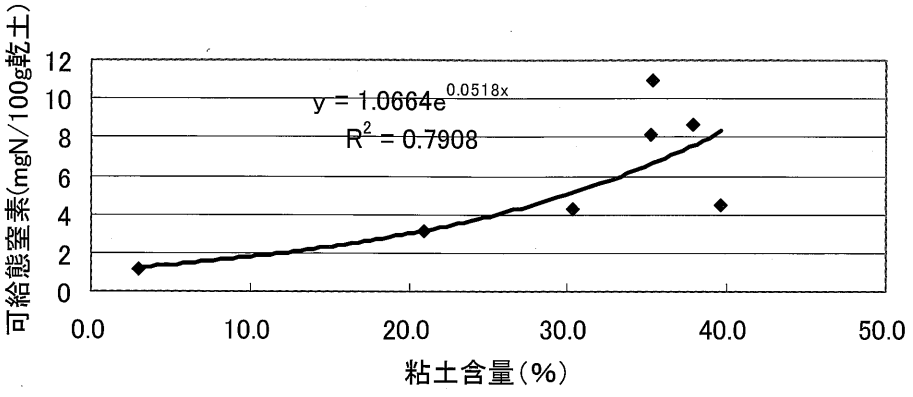

図5　可給態窒素と粘土含量の関係

土壌微生物バイオマス窒素（Biomass N）は、金沢・早野（1992）の提案するトルエン・フェノール法を応用して分析した。湿潤原土5gにｐＨ　7.0、0.01Mリン酸緩衝液25mL添加後、トルエン0.75mLあるいはフェノール4.0mLを加えて30分振とうして30℃で24時間培養した。培養後20%塩化カリ液25mL添加して30分振とう後、ろ液を試料液とした。抽出したアミノ酸態窒素は和光アミノ酸標準液H型を標準としてニンヒドリン反応により比色法で定量した。バイオマス窒素は次式（金沢・早野の提案式）で求めた。

（トルエン処理アミノ酸Ｎ－フェノール処理アミノ酸Ｎ）／0.224＝バイオマスＮ

この分析法は、クロロホルム薫蒸法に比べて親水性である水田土壌の微生物バイオマス窒素量の分析に適していると判断して流入土の分析を試みた。

分析の結果、全体的にバイオマス窒素量は多くなかった。その中で池之島は比較的多くのバイオマス窒素が検出された。太田はバイオマス窒素の検出は微量であったが、フェノール処理でのアンモニア態窒素量が多く有機物自体の含量が多いと思われる。浦瀬では粘土質の流入土砂はバイオマス窒素が相当量検出されたが、砂質の土壌ではほとんど検出されなかった。

微生物バイオマス窒素は水田から発現するアンモニア態窒素の重要な供給源であり、当該土壌の肥沃性を判断する材料となり得る。通常の水田土壌において、バイオマス窒素は水稲移植後に最も多くなり、その後漸減する傾向を示す。当該土壌は水害4カ月後の11月に採取されたものであり、微生物バイオマスの動態の中でどのような段階なのかは不明である。しかし、図6に示すように、表土については、可給態窒素とバイオマス窒素の間には高い相関関係が認められた。バイオマス窒素量は土壌の粘土割合や有機物の含有量に応じて多くなる傾向があり、今回の分析結果もある程度この傾向と相応していると考えられる。

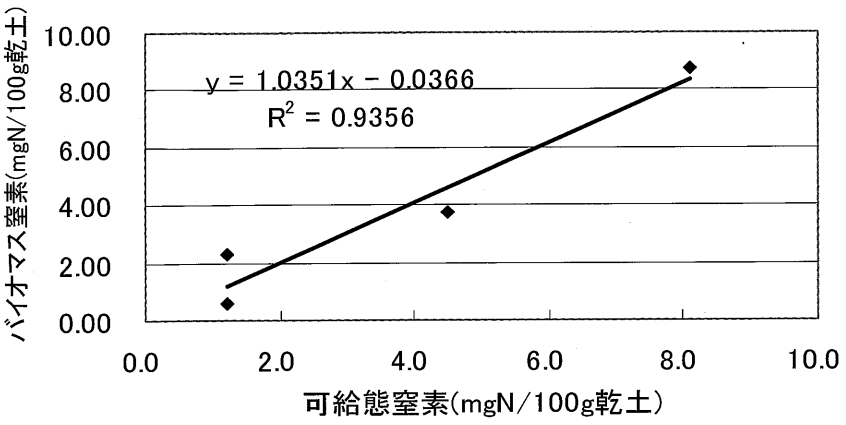

図6　可給態窒素とバイオマス窒素の関係

3．水害による土砂流入水田の水稲窒素吸収予測プログラムの作成と配布

7．13水害による土砂流入被害の水田圃場を対象として、流入土砂からの水稲窒素吸収増加量を予測するシミュレーションプログラムを作成し、当該農業改良普及センターに配信した。

7月16・19日に三条市、見附市、長岡市、中之島町、加茂市、三島郡三島町等の被害地視察に続き、当グループでは11月8日に見附市池之島・太田地域および長岡市浦瀬地域を中心として土壌調査や分析用試料採取を実施した。

11月11日に「7.13水害に係わる水稲被害調査検討会」が新潟県農業総合研究所で開催され、当グループからは尾和と高橋が出席した。他の参集者は県経営普及課、三古農業改良普及センター、南蒲原農業改良普及センター、農業総合研究所基盤研究部、同作物研究センターの担当者であった。席上、流入土砂の取り扱いと土砂による次作の水稲生育への影響が話題となった。流入土砂の堆積厚と土砂の肥沃性によっては水稲の作付けが不可能となることが予想され、現地では工事によって堆積土砂の削除が計画されている。しかし、削除における工事費用はセンチメートル単位で工事単価が異なるために普及センターでは農家説明に苦慮しているとのことであった。

そこで、当グループでは不十分ながらも、「土砂流入水田における水稲窒素吸収シミュレーションプログラム」を提案した。席上、当該普及センターからプログラムの入手・利用要望があり、後日プログラムを改良して配信することになった。11月15日に農業総合研究所作物研究センター及び新潟県農林水産部経営普及課専門技術員室を経由して、当該の三古農業改良普及センターと南蒲原農業改良普及センターにプログラムを配信した。当プログラムは農家に対する水害復旧対策の説明会に利用された。

プログラムの内容：利用しやすさを勘案し、エクセル画面上で簡単な手入力で「旧作土の窒素発現」、「流入土砂の窒素発現」、「流入土砂厚」を入力する。入力データは農業総合研究所や当グループあるいは当該普及センターが水害に関係する調査で判明した結果を用いる。旧作土の窒素発現量が不明な場合は、従来農家が慣行で行ってきた基肥窒素量を基に土壌からの窒素発現量を逆算する。作土厚の違いによる窒素吸収は山口農試1998、東北農試1990、新潟作物研2001の試験成績をもとに各係数を用いる。流入土砂は15cm以上、15～6cm、5cm以下に分類して各係数を利用する。土壌の窒素発現量に対して水稲の窒素吸収量は、移植～幼穂形成期までは土壌発現窒素の60%を利用、幼穂形成期～収穫期では80%の利用に加えて幼穂形成期までの未利用分20%を吸収する。潅漑水からの窒素供給量は移植～幼穂形成期で0.35kg/10a、幼穂形成期～収穫期で0.35kg/10aと仮定する。また、耕耘深度は15cmとし、15cm以下の有効土層（流入土層＋旧作土）の不攪乱窒素発現係数は0.7とする（新潟農試1993）。旧作土厚は10cmと仮定する。旧作土下層からの窒素吸収割合は流入土厚15～5cmで窒素発現量の10%、流入土厚5cm未満で窒素発現量の30%と仮定する。各生育期間の窒素吸収限界量は移植～幼穂形成期で5.5g/㎡、幼穂形成期～収穫期で6.5g/㎡とする。

下記に加茂市五反田と見附市池之島での窒素吸収予測を示す（図7，8）。加茂市では5cm、見附市でも7cm程度以下に流入土砂を削除する必要があ

る。今後、予測の信頼性を検証する準備を進める。

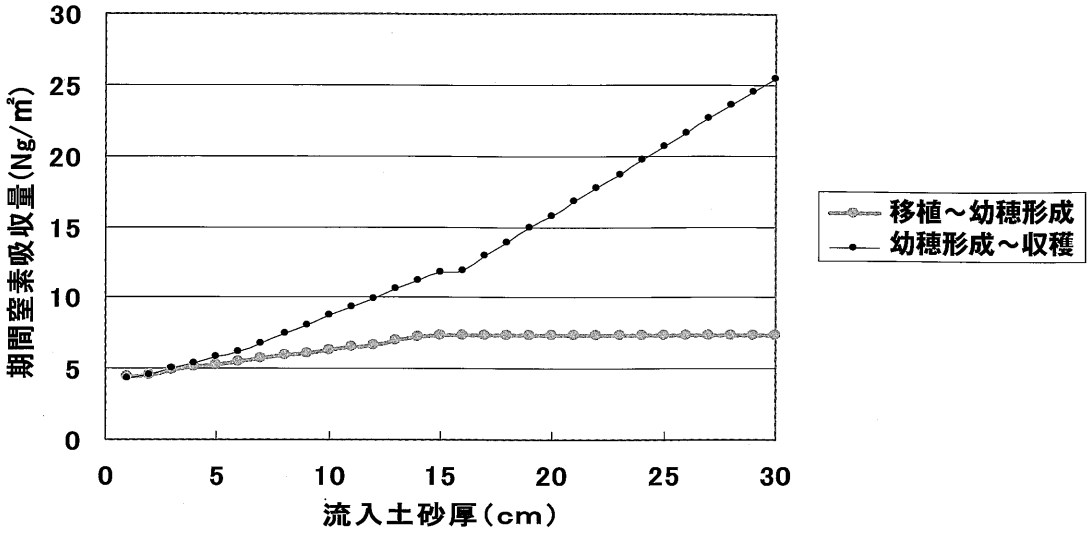

図7．流入土砂厚と水稲窒素吸収予測（加茂市五反田）
流入土砂N発現7.8mg/100ｇ乾土（30℃4w）

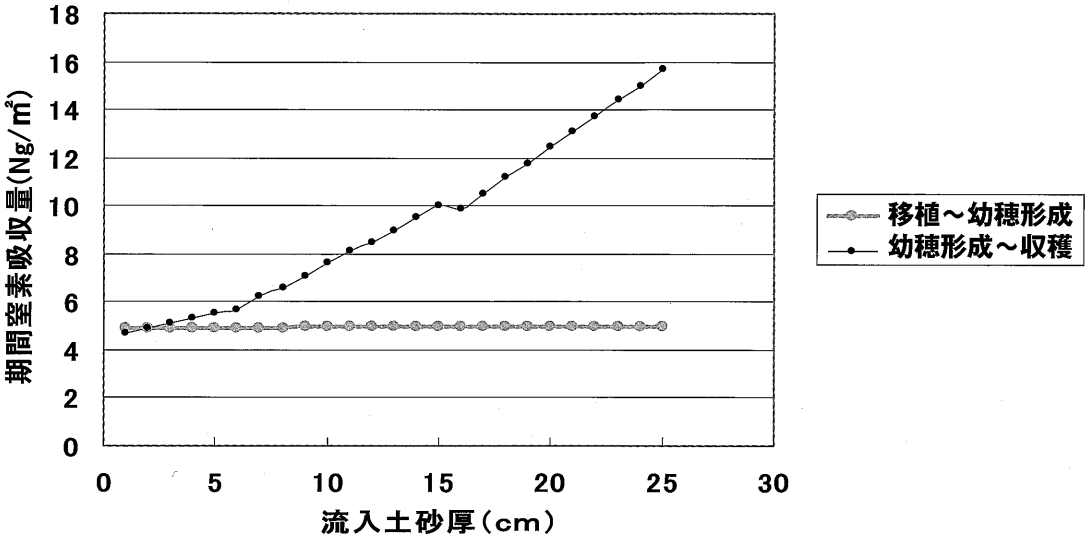

図8．流入土砂厚と水稲窒素吸収予測（見附市池之島）
流入土砂N発現5.2mg/100ｇ乾土（30℃4w）
注）窒素発現量は新潟農総研のデータを使用した。

4．謝辞

試料の採取に際し多大なご協力を下さいました、新潟県農業総合研究所作物研究センター主任研究員の南雲　芳文氏、同　土田　徹氏、県農林水産部経営普及課専門技術員の水沢　誠一氏、および三古農業改良普及センターと南蒲原農業改良普及センターの皆様に感謝申し上げます。また、報告をまとめるにあたり、貴重なご助言を下さいました新潟大学農学部　三沢　眞一教授に感謝いたします。

補遺:　土砂流入水田における水稲窒素吸収シミュレーション

操作方法:青枠に必要数値を記入してください。旧作土の窒素発現量が不明な場合は、以下の換算値を記入してください。オレンジ枠から該当する流入土厚の数値を選択して緑枠に記入してください。水稲の窒素吸収量は黒太枠に表示されます。

農家慣行基肥N量

Nkg/10a	換算N発現量
0	5.6
1	5.1
2	4.7
3	4.3
4	3.9

旧作土N発現　5　30℃4wNmg/100g or 上表から換算

流入土N発現　5.2　30℃4wNmg/100g
7.8

流入土厚　8　cm

流入土厚15cm以上	移植～幼穂形成		幼穂形成～収穫	
土壌窒素発現量	7.80	A	3.51	B
流入土厚15～6cm	移植～幼穂形成		幼穂形成～収穫	
土壌窒素発現量	7.66	C	5.95	D
流入土厚5cm以下	移植～幼穂形成		幼穂形成～収穫	
土壌窒素発現量	7.66	E	5.33	F

該当する流入土厚から数値を記入

移植～幼穂形成期	幼穂形成～収穫
7.66	5.85

面積当たり水稲窒素吸収量

移植～幼穂形成期までの土壌窒素利用率60%
幼穂形成期～収穫期　〃　80%＋幼穂形期の未利用分20%
灌漑水からの窒素供給量0．35＋0．35と換算

	移植～幼穂形成期		**幼穂形成期～収穫期**		**全窒素吸収**	
推定値	4.9	G	**6.6**	H	11.5	I
適正値	4.5		5		9～10	
施肥N	-1.3		-2.8			

仮定:15cm耕耘深とし、15cm以下の有効土層(流入土層＋旧作土)の不攪乱窒素発現係数は0．7とする。
旧作土厚は10cmと仮定している。
旧作土下層を含めた窒素発現量は流入土厚15-5cmの場合、作土N×1.1、流入土厚5cm未満の場合、作土N×1.3と仮定した。
吸収窒素限界値は移植～幼穂形5.5、幼穂形～収穫6.5とした。
注)流入土なしでのシミュレーションは予測誤差が大きくなる。

A:D19*1.5　B:(D20-D19)*D22/10+(D22-15)*D20/10*0.7+D17*1.5*0.7
C:D19*D22/10+D17*(15-D22)/10
D:((D20-D19)*D22/10+(15-D22)/10*D17*0.5+(D22-5)/10*D17*1.5*0.7)*1.1
E:D19*D22/10+D17+D17*(5-D22)/10　F:(E22*0.5*E26/10)+(E19*0.5)*1.3
G:D36*0.6+0.35　H:D36*0.8+0.35+D36*0.2
I:C43+E43