

## 粘質土壌の易耕性からみた土壌構造の評価法

中 野 啓 三\*

Structural evaluation of clayey soils by ratio of plastic  
limit to soil moisture content (pF 1.8)

Keizo NAKANO

Shikoku National Agricultural Experiment Station

ペーパー<sup>1)</sup>によれば、易耕性 (Soil tilth) は植物の生育に関係する土の物理的性質を指し、植物の生育に適した土の物理的条件は、普通、最小の労力で最良の粒団化が得られるように耕されること、すなわち、耕耘し易いということになるとされている。

ところで、耕耘時の土壌水分は耕耘作業の難易だけでなく、その後の土壌条件にも影響する。特に、多湿条件下にある重粘土水田を畑に転換利用する場合、機械による耕起、砕土作業に支障をきたすだけでなく、作業に伴う繰り返しによって土壌構造の劣化を招く。このために、播種などの作業が困難となるばかりでなく、作物の生育にも悪影響を及ぼすことは良くみられるところである。したがって、このような重粘土地帯で畑作物の安定した収量を確保するには、土壌の易耕性及び土壌構造の安定性を把握し、その土壌条件に応じた改善策の選択が必要である。

ここでは、これらの現象を統一的に評価する指標として、土壌のコンシステンシーと水分特性の関連で、塑性限界/pF 1.8-含水比をとりあげた。

## 1. 土壌構造の安定性

Boekelら<sup>2)3)</sup>は重粘土土壌の構造が時間の経過によって大きく変化することから、圃場における土壌構造の劣化が、主に湿潤状態での踏圧や重力などの機械的な力による塑性変形にあることを挙げた。さらに、このような土壌の構造は孔隙の量や分布などの1時点の測定だけではなく、構造の安定性についての要因を加えることの必要性を強調した。そして、アッターベルグ限界の塑性限界よりも多水分側において土壌が塑性変形をすると考え、土壌の塑性変形を起さなくなる限界水分点としての塑性限界が圃場条件での水分安定点である圃場含水量に対してどういう位置にあるのかで、外部から加えられた機械的な力に対する構造維持力が推定できるとした。すなわ

ち、塑性限界が圃場含水量に対比して大きい土壌ほど外力に対して安定な状態にあると考え、この目的のために吸引法で測定された pF 2.0-含水比が圃場含水量の代りに使用された。

北陸地域では冬期間圃場が積雪下となるため、作土は過湿状態にあり、加えて積雪の荷重下で経過する。耕耘や作物の栽培によって構造を持っていた作土はこの期間に大きな孔隙を減じ、より低次の構造へと移行する。表-1は北陸農試構内にある細粒強グライ土の田川統に属

表-1 塑性限界/pF1.8-含水比に対する改良資材の影響 (畑転換2年目収穫期) (1981)

処理	項目	塑性限界	pF1.8-含水比 (%)	塑性限界/pF1.8-含水比
無	施用	39.1	45.4	0.86
稲	わら	44.9	51.0	0.87
P	A C	45.3	45.3	1.00
PAC	稲わら	47.3	52.3	0.91

(注) 稲 わら : 60kg/a

P A C : ポリ塩化アルミニウム, CECの30%相当量

PAC・稲わら : 両者の併用

する水田の畑転換に際して、作土の物理性改善のための資材施用と塑性限界/pF 1.8-含水比との関係を、表-2は作土の三相分布に対する資材施用の影響を示したものである。表-2にみられるように、粗孔隙 (pF 1.5における気相) は各区とも融雪後である畑転換3年目耕起前が積雪前の2年目収穫期より小さく、冬期間に減少がみられた。この粗孔隙の減少割合は塑性限界/pF 1.8-含水比が1.00と大きかった PAC (ポリ塩化アルミニウム) 区で16%と他区よりも小さく、同区において土壌構造の安定性の高いことを示している。さらに、転換3年目は播種後の6月から7月初めまでの間に降雨日が多く、トウモロコシは湿害を受けて全体として生育の劣った年であった。この転換3年目における土壌水分の推移は、図

\* 四国農業試験所

表-2 三相分布に対する資材施用の影響(転換畑)  
(1980-1981)

年次	項目		乾燥 密度	三相分布(pF1.5)%		
	処理			固相	液相	気相
2年目 (収穫期)	無 施 用		1.01	39.0	46.4	14.6
	稲 わ ら		0.90	35.7	46.2	18.1
	P A C		0.92	36.2	43.0	20.8
	P A C · 稲 わ ら		0.85	34.3	46.1	19.6
3年目 (耕起前)	無 施 用		1.03	40.5	47.9	11.6
	稲 わ ら		0.91	36.5	51.6	11.9
	P A C		0.92	36.8	45.7	17.5
	P A C · 稲 わ ら		0.88	35.4	52.8	11.8
3年目 (収穫期)	無 施 用		1.04	41.1	44.2	14.7
	稲 わ ら		0.96	38.8	46.2	15.0
	P A C		0.90	35.6	40.4	24.0
	P A C · 稲 わ ら		0.93	37.3	44.5	18.2

は湿害が比較的軽く、表-3にみられるように、その生育は塑性限界/pF 1.8-含水比の小さい区よりも優れた。

表-3 トウモロコシの生育及び収量に対する資材施用の効果 (3年目) (1981)

項目	生育調査(7月13日)		収量(生草kg/)
	草 丈(cm)	1株乾物重(g)	
無 施 用	114	30.3	329
稲 わ ら	110	18.2	250
P A C	141	47.6	376
P A C · 稲 わ ら	136	41.4	361

このように、塑性限界/pF 1.8-含水比の大きな土壌は塑性変形を起さなくなる水分点である塑性限界までの水分低下が速かであるため、土壌構造の安定性が高いと云える。そして、塑性限界/pF 1.8-含水比の増大は土壌構造安定性の改善を通じて、作物の湿害回避、または、軽減に役立つと考えられる。

## 2. 低湿重粘土水田の地耐力

久保田<sup>4)</sup>は重粘土水田土壌の地耐力診断のための土壌構造指数として、塑性限界/pF 2.0-含水比が役立つことを明らかにした。すなわち、土壌の硬さに関する性質を数量化して表わすには、土壌硬度は水分条件によって変動するために土壌間の比較が難しい。水分条件を消去する必要性から、pF 2.0の水分状態でのコーンの貫入が塑性変形の難易と関係があるものと考え、湿潤重粘土土壌の土壌硬度と塑性限界/pF 2.0-含水比との関係の検討がなされた。その結果、図-2にみられるように、pF 2.0

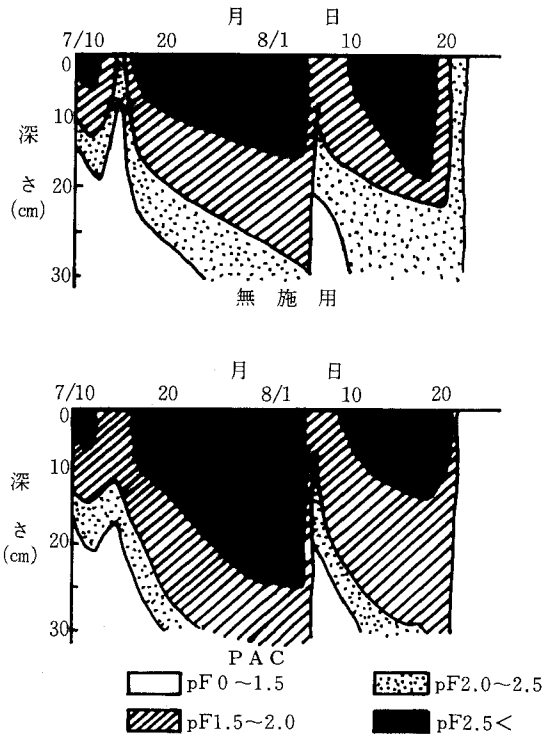


図-1 改良資材施用と土壌水分(pF)との関係 (3年目, 1981)

図-1にみられるように、塑性限界/pF 1.8-含水比の大きいPAC区が同比の小さい区に比べて高いpF値で推移しており、降雨後にpF値の上昇も速やかであった。また、PAC区では粗孔隙がトウモロコシの生育期間を通じて20%以上を維持していることもあり、トウモロコシ

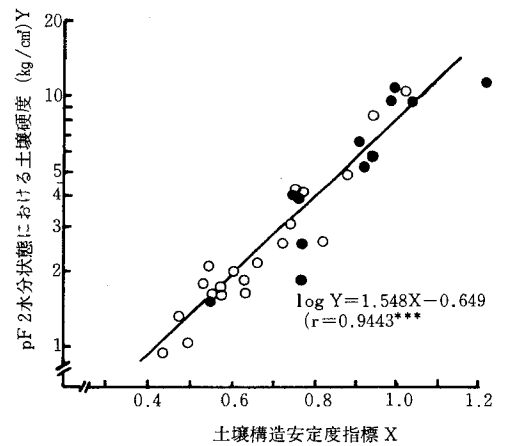


図-2 土壌硬度と土壌構造安定度指標の関係(久保田)

表-4 水稻の無湛水栽培による土壌物理性の推移 (1970)

処 理	項 目		液性限界 乾土/生土
	塑性限界	pF1.8含水比(%)	
慣行水管理栽培	39.0	66.4	0.79
無湛水栽培	38.9	51.8	0.83
無湛水栽培+弾丸暗きよ	40.7	48.3	0.82

の水分会状態での土壌硬度が塑性限界/pF 2.0-含水比との間で高い相関のあることを認め、土壌の水分条件に依存しない硬さに関する固有の性質を、塑性限界/pF 2.0-含水比によって数量化できると結論した。この指標は、①コーン貫入では測定しにくい攪乱された作土層、堅密層をよく測定できる。②土壌の耕しやすさ、土壌構造発達程度との関係をもっているなどの利点があげられた。

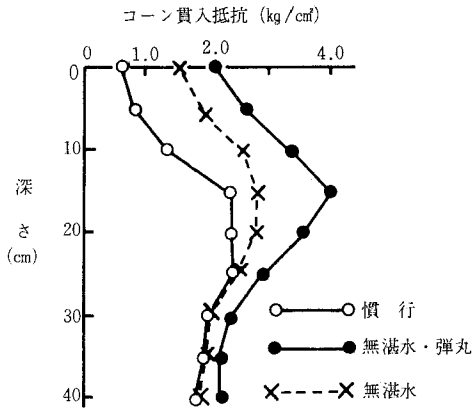


図-3 無湛水栽培が土壌硬度におよぼす効果 (1970)

筆者は低湿重粘土水田の土層改良を図るために、水稻を湛水移植・活着後に無湛水で栽培した。無湛水栽培と塑性限界/pF 1.8-含水比及び土壌硬度との関係を表-4、図-3に示した。水稻の無湛水栽培によって作土の塑性限界/pF 1.8-含水比が大きくなるとともに、土壌硬度の増大は作土だけでなく、作土下の土層にもおよび、農業機械の支持と走行に必要な地耐力の改善がみられた。このように、低湿田における作土の塑性限界/pF 1.8-含水比は作土下土層の状態をも反映していると考えられる。

### 3. 易 耕 性

久保田<sup>5)</sup>は Boekel の土壌構造指数を圃場における耕耘可能状態の安定性の推定へと発展させた。塑性限界を耕起可能な水分点とし、塑性限界が圃場含水量に比べて大きい土壌、すなわち、塑性限界/pF 1.8-含水比が大きい土壌ほど耕耘の支持力が大きく、より多量の降雨によ

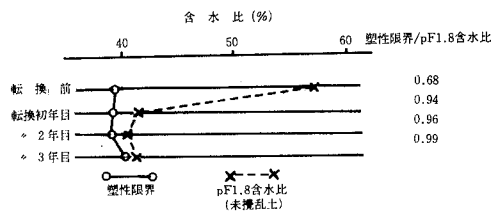


図-4 畑転換に伴う作土の塑性限界と pF1.8含水比との関係 (1971~1973)

ってはじめて耕耘不能の水分域に達し、また、降雨後に速やかに耕耘可能な水分域になると考えた。また、久津那ら<sup>6)</sup>は転換畑と隣接水田の土壌について、易耕性を塑性限界と pF 1.7-含水比との関係から考察し、易耕性の判断に対してその有効性を認めている。その結果を表-5に示した。

図-4は田川統に属する水田を畑転換した圃場について、畑転換に伴う作土の塑性限界と pF 1.8-含水比の関係を示したものである。易耕性が劣って畑への転換が困難である強グライ土の重粘土水田は pF 1.8-含水比が塑性限界に比べてかなり大きい特徴を持っている。ところで、降雨後の過剰水は短時間に排除され、土壌水分は圃場含水量にまで低下する。しかし、それ以上の土壌乾燥は主として蒸発散によらねばならず、急速には進まない。圃場含水量が塑性限界に比べて非常に大きい、すなわち塑性限界/pF 1.8-含水比の小さい土壌は、慣行の耕耘ができる水分状態になるまで土壌水分を低下させるには長時間が必要である。当然、このような状態にある圃場は土壌の乾燥を待っている適期に播種ができないので、過湿状態で耕耘しなければならず、機械作業や土壌管理が困難となる。一方、転換2年目以降の塑性限界/pF 1.8-含水比が大きくなった圃場は降雨後の土壌乾燥が速かになり、また、比較的低い pF においても耕耘できるようになるなど、機械の稼働日数に対しても有利に働くと云える。

山崎<sup>7)</sup>が前記試験の隣接圃場で実施した転換畑における耕耘方法の試験から、耕耘時における土壌含水比の推移についての年次変化を図-5に、土壌の含水比と碎土率との関係の年次変化を図-6に示した。春耕転前の土壌含水比は初年目では49~55%であり、塑性限界より遙

表-5 塑性限界と圃場容水量 (久津那ら)

項 目	畑			田			
	(A) 塑性限界	(B) pF1.7 含水比	A/B	(A) 塑性限界	(B) pF1.7 含水比	A/B	
灰 色 台 地 土	34.8	40.1	0.87	32.2	41.8	0.77	
	37.1	46.4	0.80	32.7	43.8	0.75	
	44.0	48.6	0.91	32.7	43.8	0.75	
灰 色 低 地 土	30.9	31.4	0.98	30.0	34.3	0.87	
	35.9	42.6	0.84	34.7	43.9	0.79	
	40.6	48.0	0.85	37.6	47.9	0.78	
灰 色 低 地 土	37.5	40.9	0.92	35.7	39.8	0.89	
	40.9	47.8	0.86	38.3	46.3	0.83	
	40.5	47.8	0.85	40.3	53.6	0.75	
グ ラ イ 土	31.0	36.7	0.84	29.9	37.3	0.80	
	29.6	35.7	0.83	29.2	40.8	0.72	
	(高)	34.0	45.9	0.74	31.2	43.2	0.72
泥 炭 土 (低)	(低)	31.7	39.1	0.81	32.1	41.6	0.77
	(低)	41.2	44.2	0.93	36.2	43.7	0.83
	(低)	42.3	50.9	0.83	37.2	42.6	0.87
	(低)	33.5	38.3	0.87	28.4	33.1	0.86
多 湿 黒 ボ ク 土	34.5	44.0	0.78	33.6	51.5	0.65	

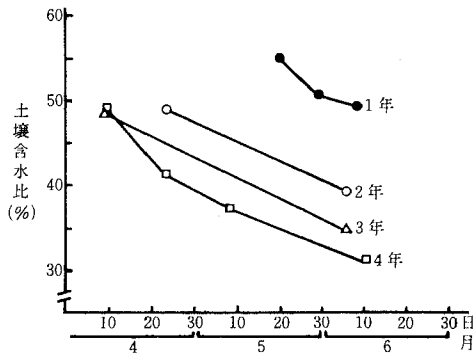
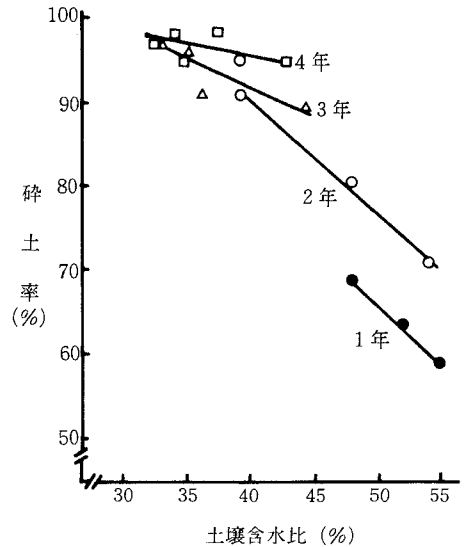


図-5 土壌含水比の年次変化(山崎, 1971~1974)

かに大きかったが、転換2年目以降では土壌乾燥が速かに進むようになり、この傾向は年次の経過とともに速かとなった。したがって、転換初年目の耕耘は微速装置つきトラクタに多軸ロータリを使用し、耕耘ピッチ1.1cmで行ったにもかかわらず、碎土率は70%を得ることができなかった。しかし、転換2年目以降では碎土率は次第に向上し、3年目以降は普通のトラクタでの作業が可能となるなど、易耕性の改善が進んだ。

このように、塑性限界/pF 1.8-含水比が小さく、易耕性の劣っている低湿重粘土水田も、畑転換後、年次の経過によって畑地化が進み、同比が大きくなるとともに、耕耘は容易となり、また、畑転換に伴う孔隙量の推移及

図-6 土壌含水比と碎土率(山崎, 1971~1974)  
(耕耘ピッチ1.1cm, 10cm耕)

びトウモロコシの収量の推移を示した表-6, 7にみられるように、土壌物理性が改善され、トウモロコシも普通畑と同様の安定した収量が得られるようになる。

なお、筆者<sup>2)</sup>は塑性限界/pF 1.8-含水比を転換畑土壌における畑地化の程度を示す指標として有効であることを認めたが、ここでは重複を避けるために省いた。

表-6 畑転換に伴う孔隙分布の推移 (1971~1973)

年次	項目 層位	孔 隙 量 (%)			表層30cmの pF1.5~2.7保水量 (mm)
		pF0~1.5	pF1.5~2.7	pF2.7~4.2	
転換前	1	0.2	3.5	16.0	11.5
	2	0.1	2.6	20.4	
転換初年目	1	28.9	3.2	6.7	11.3
	2	2.8	4.4	15.2	
転換2年目	1	25.8	6.9	8.9	15.6
	2	1.7	3.5	17.0	
転換3年目	1	21.7	9.3	10.6	20.5
	2	1.3	4.4	9.5	

表-7 畑転換に伴うトウモロコシの収量の推移  
(1971~1975 青田)<sup>8)</sup>

年次	項目	乾草収量 (kg/a)
転換初年目		99.1
〃 2年目		124.8
〃 3年目		133.6
〃 4年目		155.0
〃 5年目		184.3

## ま と め

塑性限界/pF 1.8-含水比は重粘土畑における易耕性や土壌構造の安定性を知る指標として、また、転換畑において畑地化の程度を知る指標として使用できる。さらに、重粘土水田において水分条件を消去した土壌の硬さの性質を数量化できるなど、適用範囲は広く、基盤整備や土壌管理にその活用が考えられる。

## 文 献

- 1) 野口彌吉, 福田仁志訳 (1955) : 土壌の物理的性質と耕耘, L. D. ペーパー, 土壌物理学 315-352
- 2) P. Boekel and P. K. Peerlkamp (1956) : Soil consistency as a factor determining the soil structure of clay soils. Neth. J. Agric. Sci. 4, 122-125.
- 3) P. Boekel (1963) : The effect of organic matter on the structure of clay soils. Neth. J. Agric. Sci. 11, 250-263.
- 4) 久保田徹 (1984) : 重粘土水田土壌の地耐力診断の

ための土壌構造指数, 日土肥誌, 55, 173-179.

- 5) 久保田徹 (1971) : 作土の構造維持に対する有機物施用の効果, 日土肥誌, 42, 7-11
- 6) 久津邦浩三, 宮崎直美 (1983) : 水田の畑転換による理化学性の変化, 北海道農試研報, 137, 107-125.
- 7) 山崎信蔵 (1978) : 低湿重粘土水田転換畑における耕耘方法, 農林水産技術会議事務局, 研究成果108, 稲作転換推進対策試験, 87-88.
- 8) 青田精一・星野正夫 (1978) : 低湿重粘土水田の転換畑におけるトウモロコシ収量の年次変化, 日草誌, 24, 118-122.
- 9) 中野啓三 (1983) : 重粘土転換畑における易耕性の評価—塑性限界と pF 1.8-含水比の関係—, 土壌の物理性, 48, 38-43.

## 質 疑 応 答

座長 粘質土壌はコンシステンシーが劣っており、畑転換ではその改善をはかる必要がある。中野さんは、易耕性の指標として塑性限界/pF 1.8含水比の有効性と、それに基づいて畑転換整備のための改善法についてお話し下さいました。御質問をお願いします。

安富 (茨城大) 暗渠の排水効果と塑性指数変化との関係について教えてほしい。

中野 (四国農試) 亀裂が発生した所及び作土では塑性限界/pF 1.8含水比が大きくなります。いわゆる物理性が変化してくるのです。