

土壌学 第5回

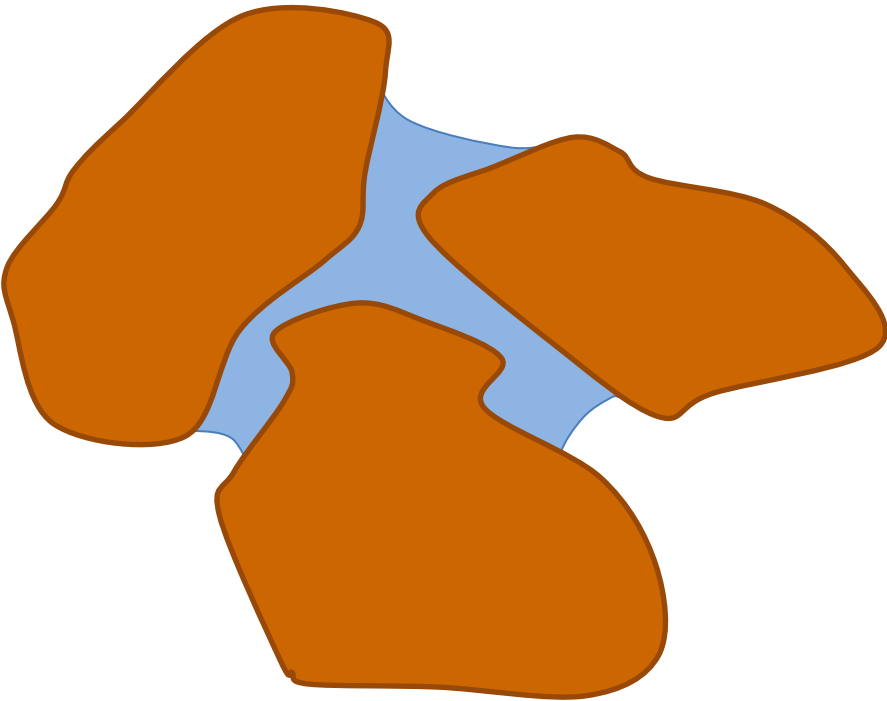
土壌の水と空気 III 空気について

参考図書

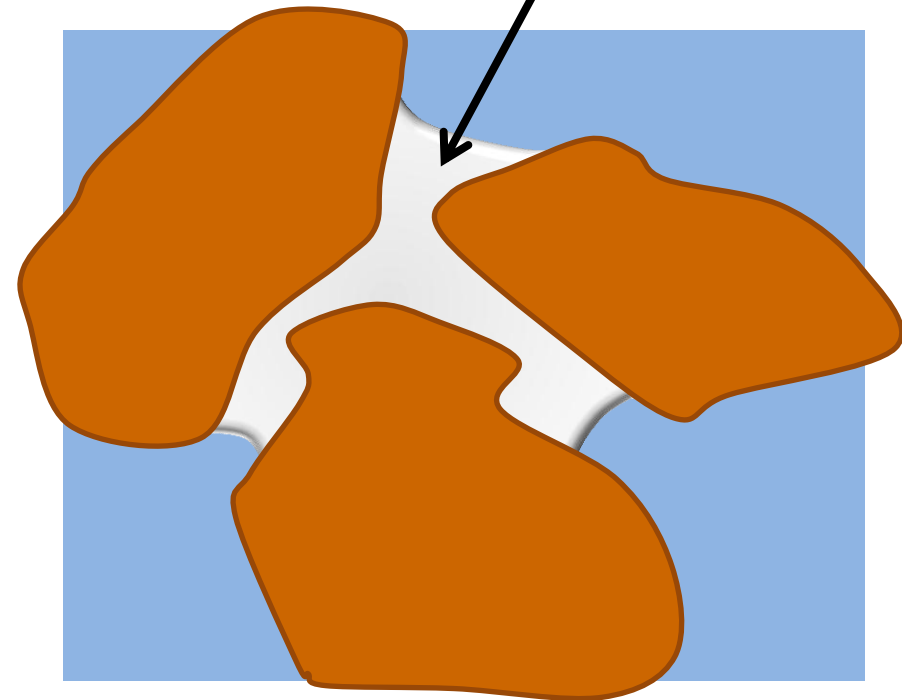
土壌物理学 宮崎 毅、粕淵 辰昭、長谷川 周一 朝倉書店 (2005/06)

土壤空気とは

水の詰まった空隙



空気の詰まった空隙



土壤の気相に存在する気体 = 土壤空気

土壤空気の特徴

- 土壤微生物や植物根の呼吸によって酸素が消費される。
- 土壤微生物による有機物分解過程で還元性の気体が生産される。



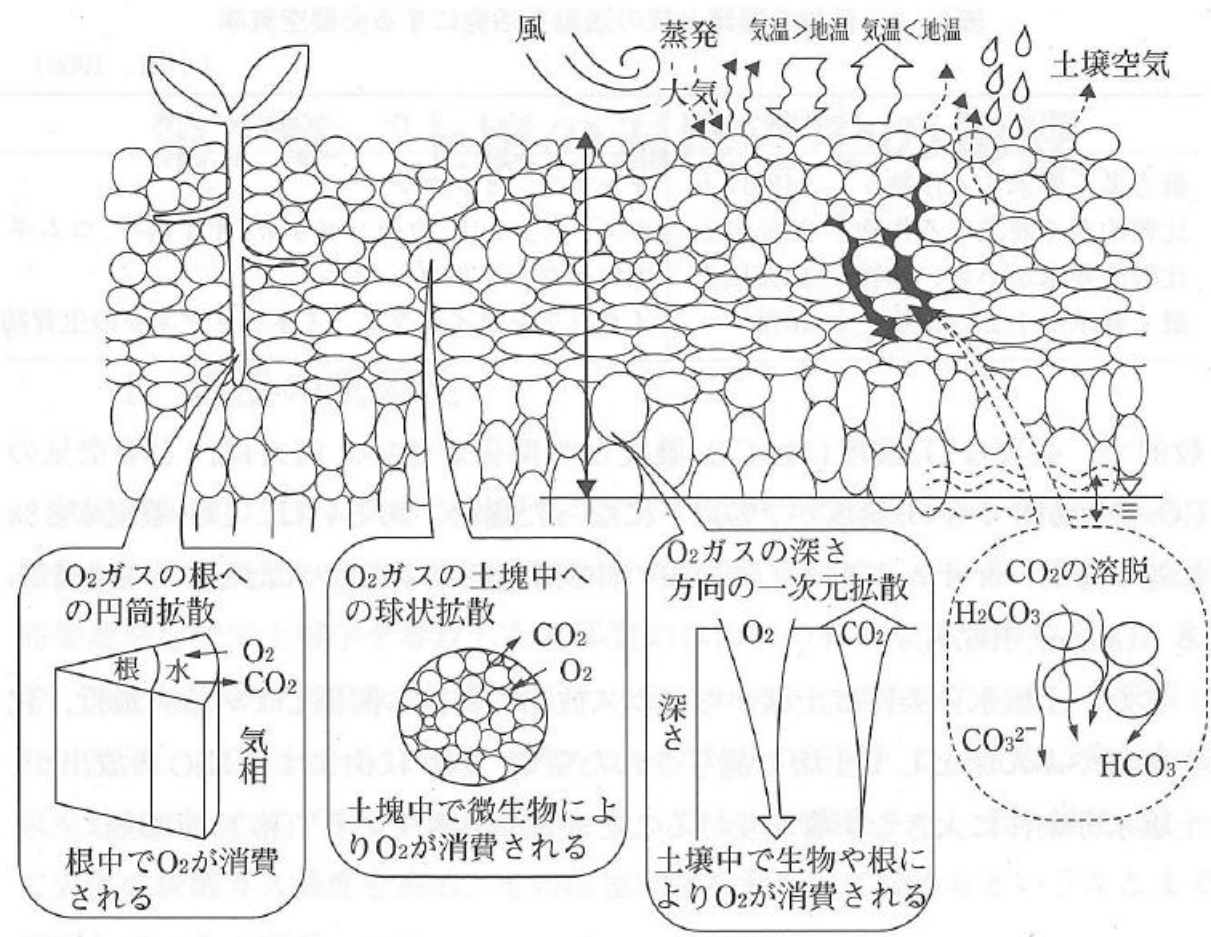
大気中とは気体組成が異なっている。

土壤空気の組成

表6-1 大気と土壤空気の組成 (陽, 1994)

	大気	土壤空気
	(vol%)	(vol%)
N ₂ (窒素)	78.09	75~90
O ₂ (酸素)	20.94	2~21
Ar (アルゴン)	0.93	0.93~1.1
CO ₂ (二酸化炭素)	0.0345	0.1~10
CH ₄ (メタン)	0.00017	tr~5
N ₂ O (亜酸化窒素)	0.00003	tr~0.1
	(ppm)	
Ne (ネオン)	18	各種炭化水素
He (ヘリウム)	5.2	NH ₃ , NO, NO ₂
Kr (クリプトン)	1.0	H ₂ , H ₂ S, CS ₂
H ₂ (水素)	0.5	COS, CH ₃ SH
CO (一酸化炭素)	0.1	DMS, DMDS
Xe (キセノン)	0.08	揮発性アミン
その他		
O ₃ , NH ₃ , NO ₂ , SO ₂		揮発性有機酸など多数
相対湿度	30~90%	約100%

土壤空気の不均一性



大気}のガス組成に近い。

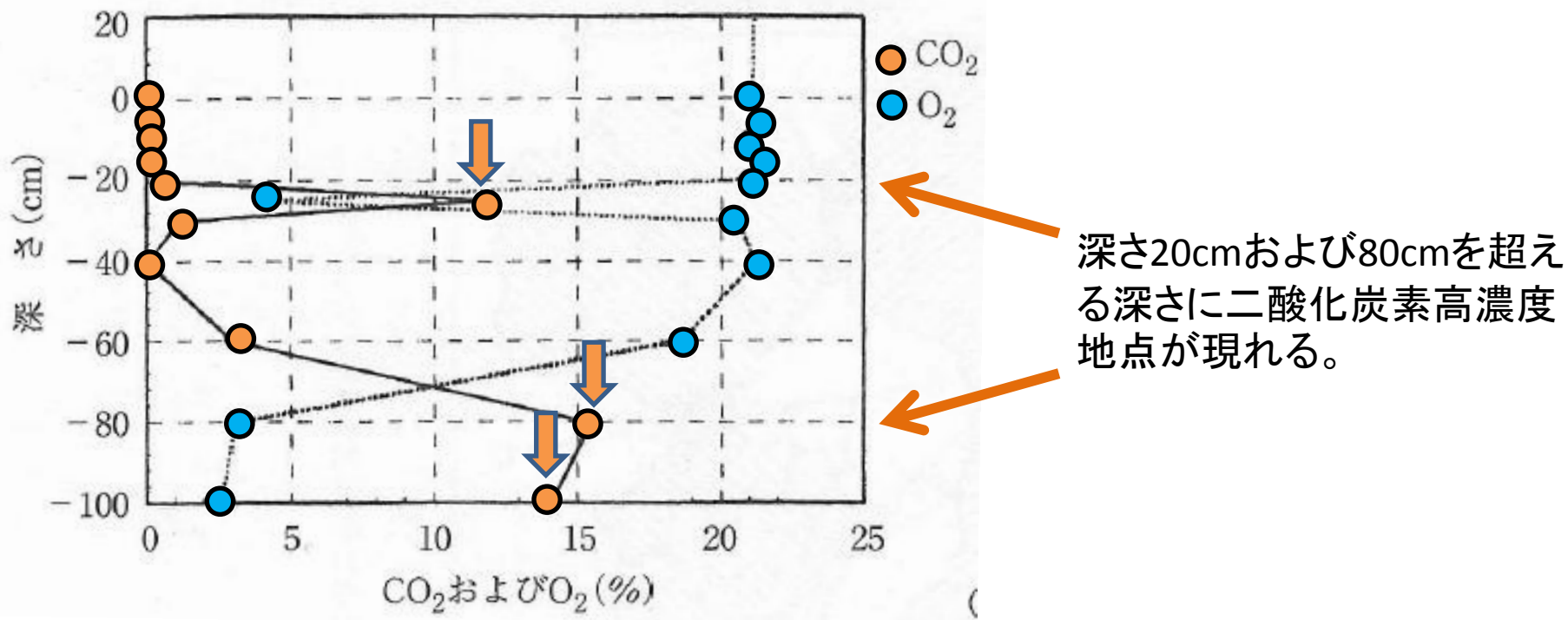
低酸素濃度、高二酸化炭素濃度という傾向}が強まる。

図6-10 酸素(O₂), 二酸化炭素(CO₂)を中心とした土壤通気の模式図

H₂CO₃: 炭酸, HCO₃⁻: 重炭酸イオン, CO₃²⁻: 炭酸イオン (遅澤, 1998)

実際の土壌での気体組成 I

田畑輪換利用水田の例

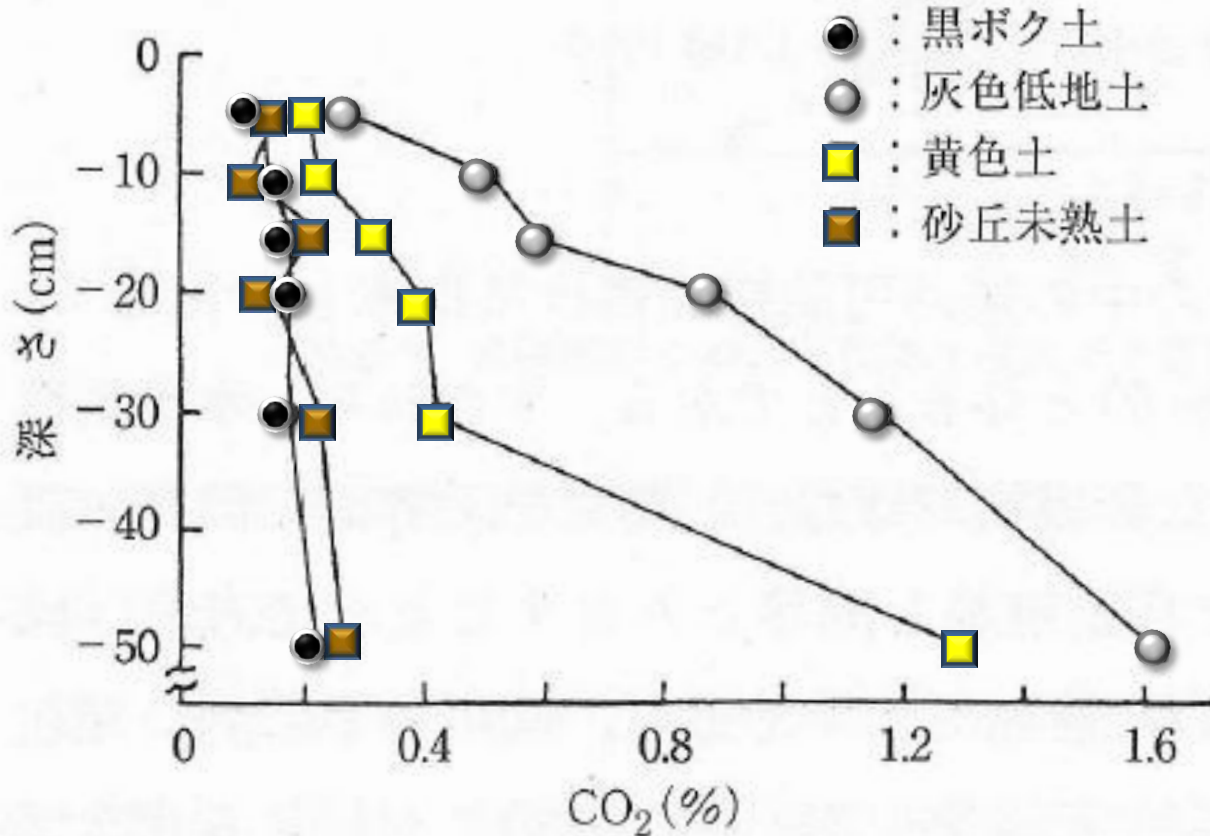


深さ20cmおよび80cmを超える深さに二酸化炭素高濃度地点が現れる。

水田利用後に、籾殻や完熟堆肥を投入し、深部にまで意識的に有機物を混入しているため、上のような二酸化炭素分布が現れる。

実際の土壌での気体組成 II

土性の異なる収集地での例



**黒ボク土
砂丘未熟土**

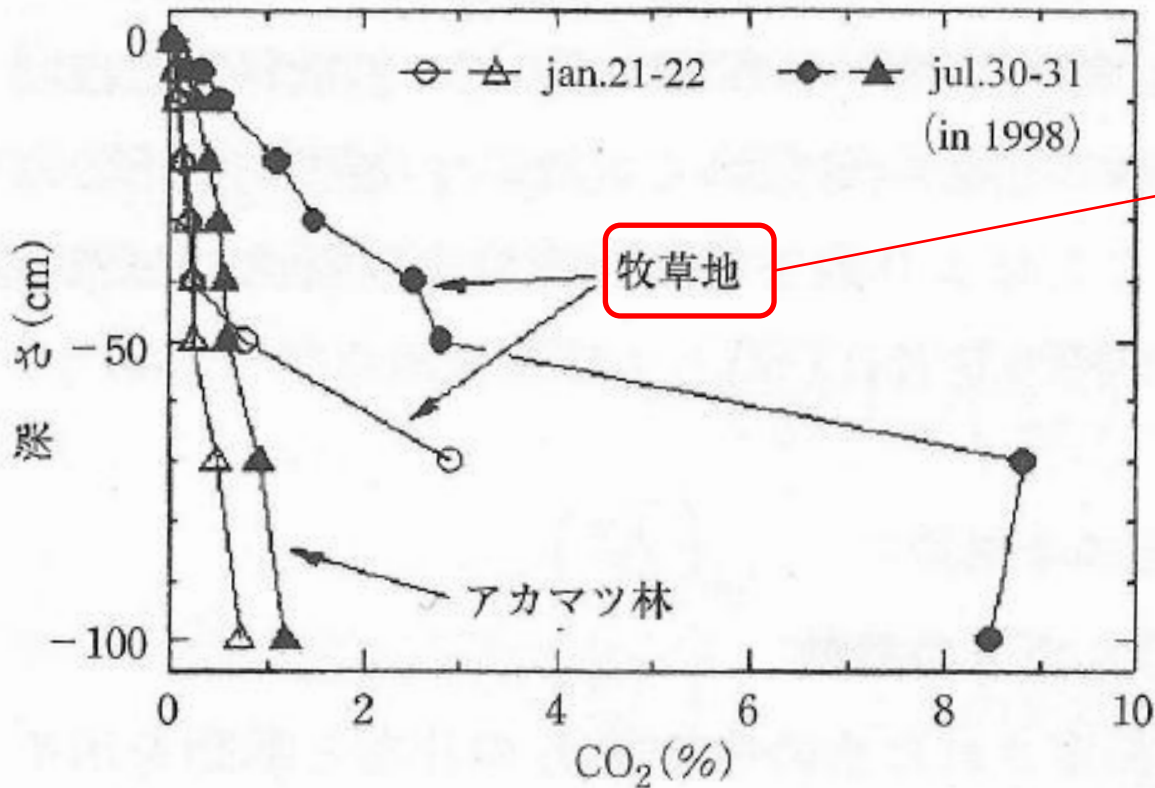
土壌内での気体の拡散が大きく、土壌中の二酸化炭素が速やかに大気と交換する。

**灰色低地土
黄色土**

土壌粒径が小さめで、拡散が比較的小さい。

実際の土壌での気体組成 III

森林と牧草地の比較の例



地力の回復を目的に、深土の有機物含量を人為的に高めたため。

土壌中の気体移動

移流と拡散

● 移流(mass flow)

高圧部から低圧部への流れ

● 拡散(diffusion)

高濃度部から低濃度部への流れ

気体の移流

$$q_{ad} = -\rho_{gas} \frac{k}{\eta_a} \frac{dP}{dz}$$

定数

q_{ad} : フラックス、単位時間に単位面積を横切る気体の量

ρ_{gas} : 気体の密度

k : 土の透過係数

η_a : 気体の粘性係数

P : 気体の圧力

圧力以外が関係する移流

深さ方向に大きな距離移動する場合、重力を無視できなくなる。

$$q_{ad} = -\rho_{gas} \frac{k}{\eta_a} \left(\frac{dP}{dz} + \rho_{gas} \cdot g \right)$$

深さによる土壌気体の圧力分布

土壌中で気体が動いていないときは、フラックスが0、つまり

$$q_{ad} = -\rho_{gas} \frac{k}{\eta_a} \left(\frac{dP}{dz} + \rho_{gas} \cdot g \right) = 0$$

$$\frac{dP}{dz} + \rho_{gas} \cdot g = 0$$

分子量

気体の状態方程式から $P = (\rho / M) RT$ なので $\rho = PM / RT$ 。これを代入して

$$\frac{dP}{dz} + \frac{PM}{RT} \cdot g = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{dP}{dz} = - \frac{Mg}{RT} \cdot P$$

$$\Rightarrow \quad P = \underline{P_0} \exp[(-Mg/RT)z]$$

$z=0$ での土壌気体の圧力

重力の影響下で深さにより土壌気体圧が異なる。

気体の拡散

拡散(diffusion)： 濃度部勾配中での移動

理論的には、フィックの拡散法則に従うと考えられる。

$$q_{\text{dif}} = -D_{\text{dif,soil}} \frac{dC}{dz}$$

定数

q_{dif} ： 拡散フラックス、単位時間に単位面積を横切る気体の量

$D_{\text{dif,soil}}$ ： 気体の土中拡散係数

C ： 気体の濃度

拡散移動は常に起きている

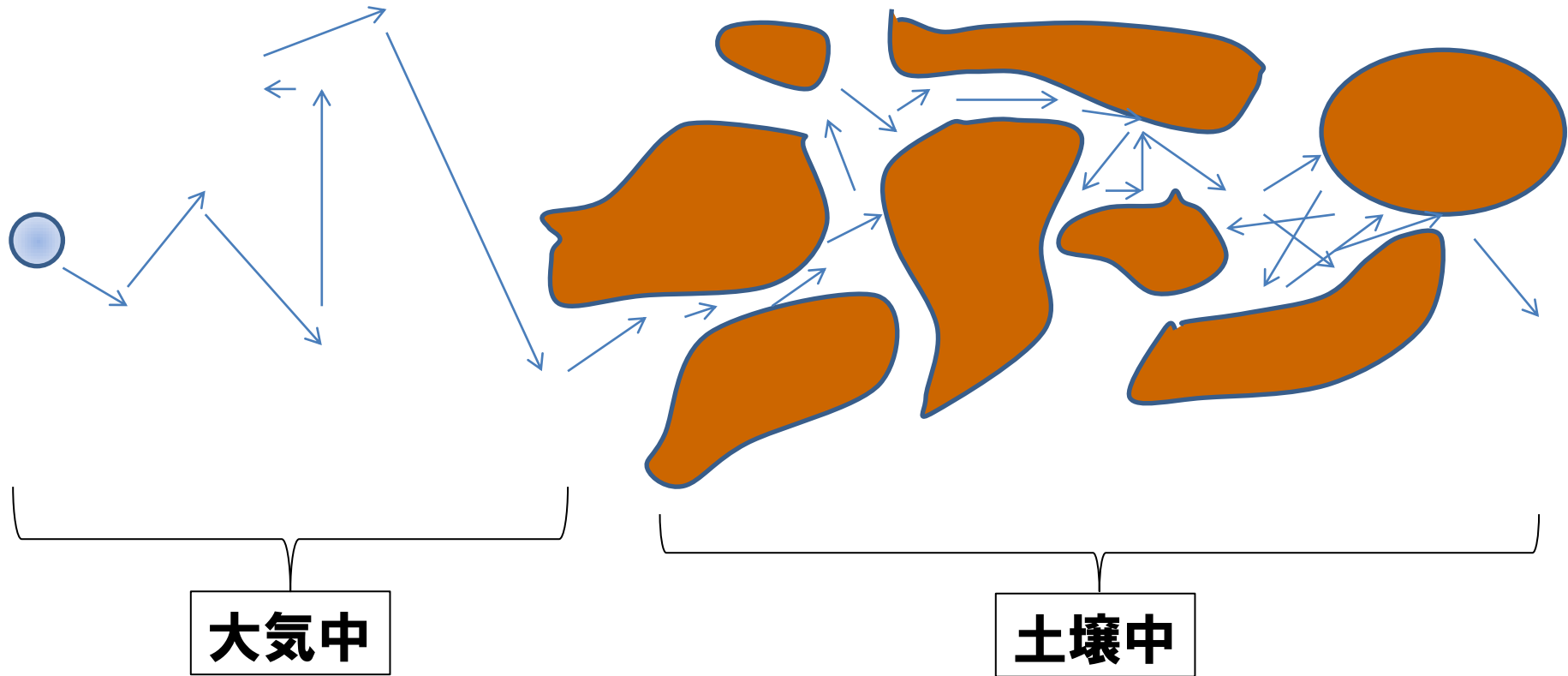
土壌中の気体成分の濃度は、様々な要因によって常に変化している。

- 土壌微生物が呼吸→ 二酸化炭素濃度が局所的に上昇
- 土壌微生物が有機物分解→ 窒素ガス濃度が局所的に上昇



ほぼ常に拡散移動は起こっていると考えてよい。

大気中と土壌中の拡散の違い



大気中

熱運動によって自由に拡散する。

土壌中

気相中しか移動することができない。
気相そのものが曲がりくねっている。

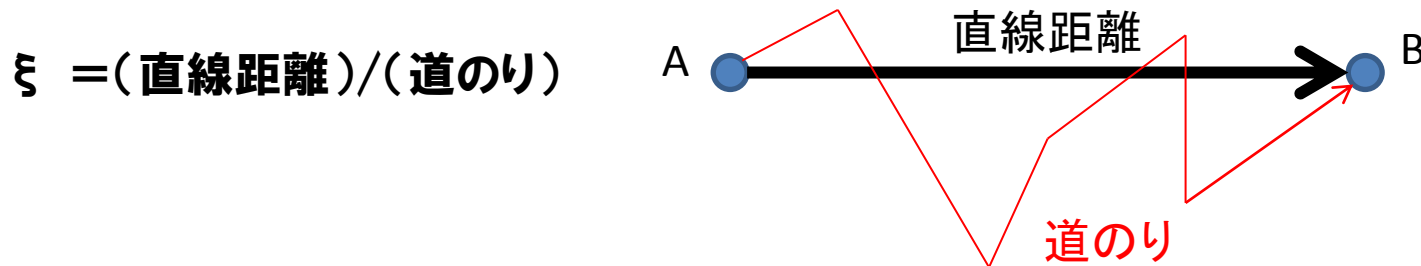
大気中に比べて、土壌中の気体拡散は遅くなる。

大気中と土壌中の拡散の違い

大気中に比べて、土壌中の気体拡散は遅くなる。

気相が少なくなることによる影響：気相率 a であらわす。

気相そのものが曲がりくねっている影響：屈曲度 ξ であらわす。



土壌中の拡散係数と大気中の拡散係数との関係は

$$D_{\text{dif,soil}} = a \cdot \xi \cdot D_{\text{dif,air}}$$

土壌中では a は0~0.6程度の値。

ξ は0.66が典型的な値。

土壌による拡散係数の違い

土壌拡散係数と
大気拡散係数と
の比 $a \cdot \xi$

気相率と相対ガス
拡散係数の関係は、
土壌の種類によら
ずほぼ一定となる。

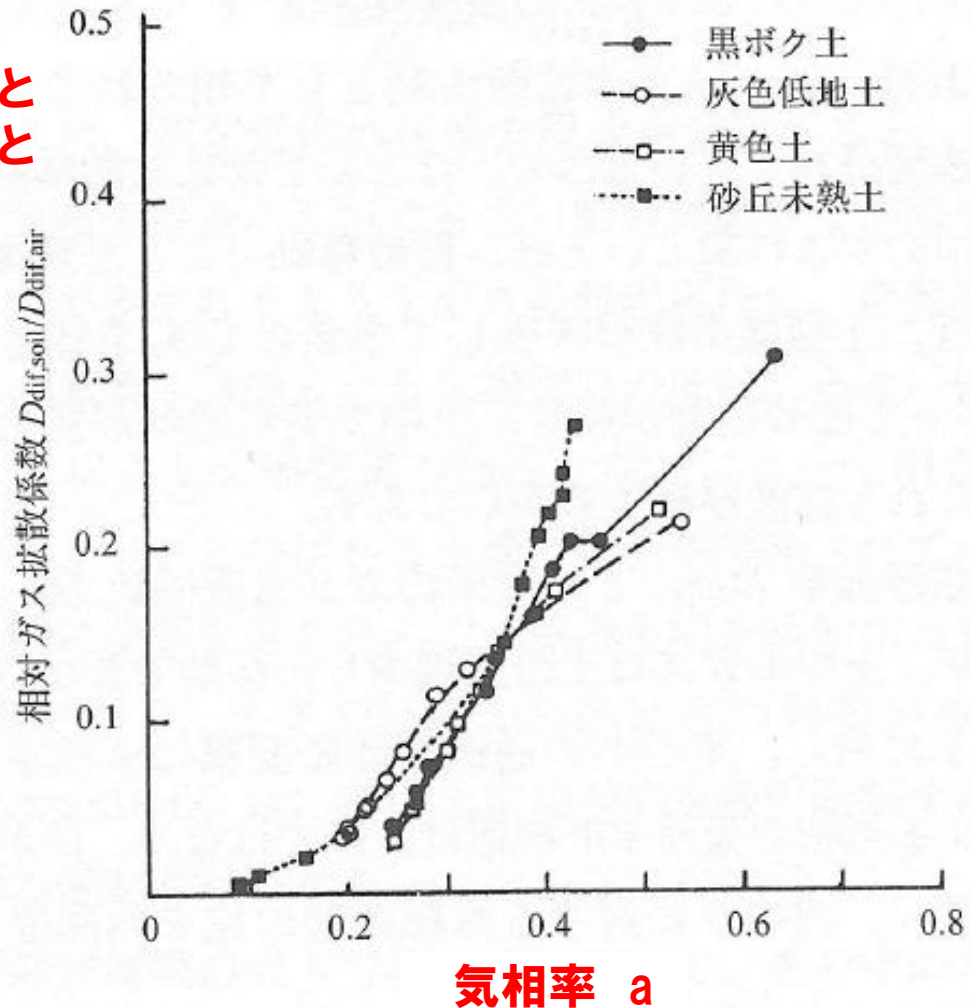


図 6.2 各種類型土壌の気相率と相対ガス拡散係数の関係 (遅沢 1998)

土壌中での水蒸気の拡散

土壌中の水蒸気の拡散は

$$q_{\text{dif}} = -D_{\text{dif,soil}} \cdot \frac{dC}{dz}$$

から予想される量よりも**多くなる**。

水蒸気の拡散移動量はなぜ多いか

原因その1

土壤中に温度勾配が存在する場合、
平均温度勾配に比べて、気相の温度勾配が大。

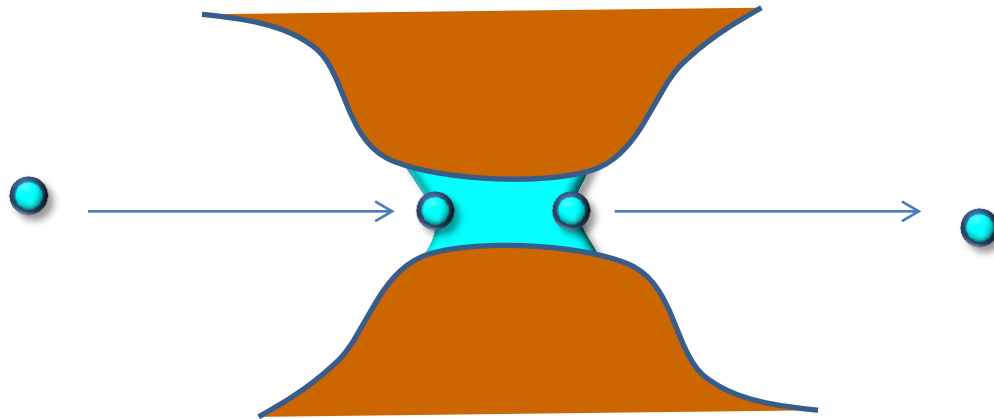


水蒸気は温度勾配に従って拡散移動するので、
平均温度勾配を仮定した時の移動より、実際の
移動量は多くなる。

水蒸気の拡散移動量はなぜ多いか

原因その2

水蒸気は、気相率であらわされる気体空間よりも、より大きな空間を移動経路として利用できる。



土壤粒子間にある水は、水蒸気にとっては通過可能。

よってこの分だけ拡散移動量が多くなる。

気相率ではなく、間隙率により移動可能空間量が表される。

土壌空気と作物生育

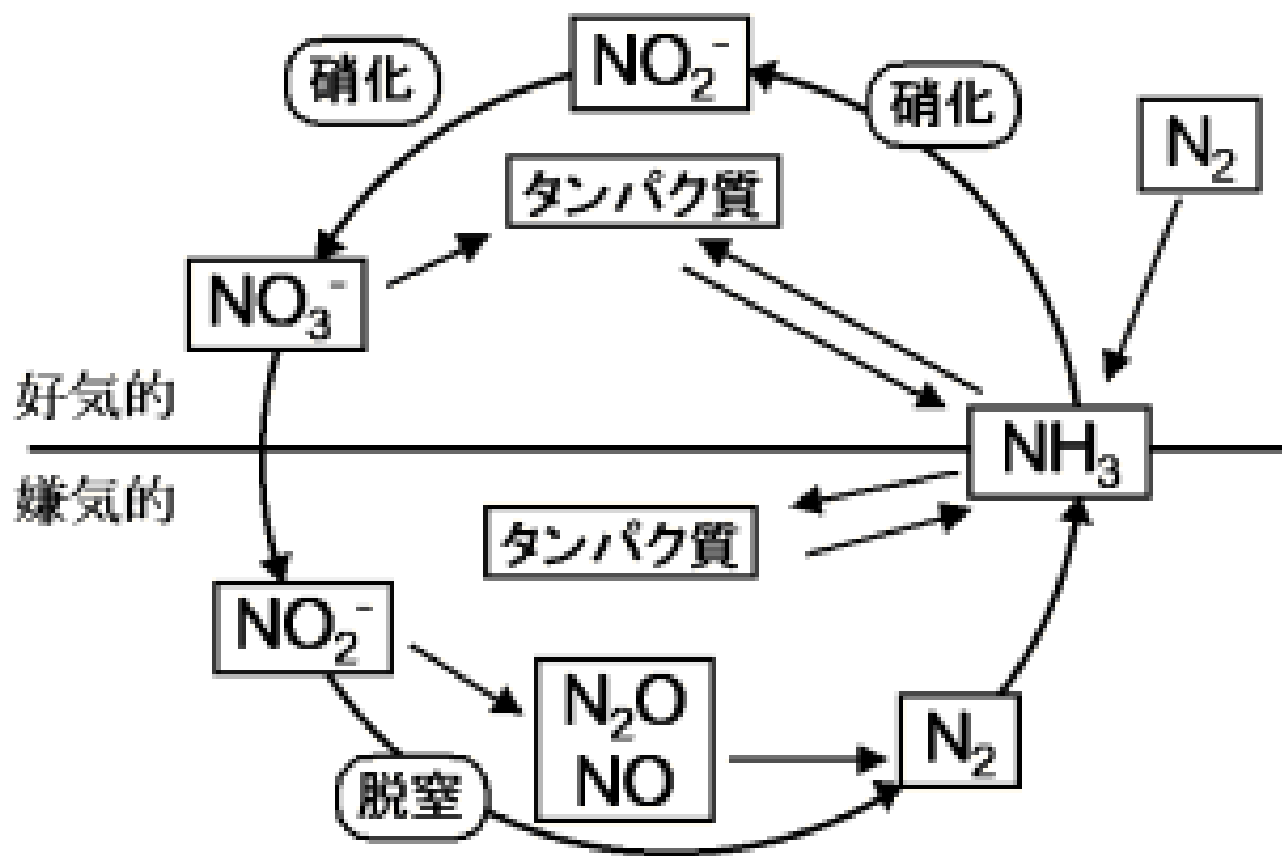
	必要空気率	作物
最も多く要求する作物	24%以上	キャベツ、インゲン
比較的多く要求する作物	20%以上	カブ、キュウリ、コモンベッチ、オオムギ、コムギ
比較的要求が少ない作物	15%以上	エンバク、ソルガム
最も要求が少ない作物	10%	イタリアンライグラス、イネ、タマネギの生育初期

浅根性の作物は空気要求性が高い傾向がある。

空気要求性の高い植物生理現象

発芽、根の伸長、など。

土壌空気と窒素循環



通常の畑土壌
では硝化が進
む。

水田の表層土
等では脱窒が
すすむ。