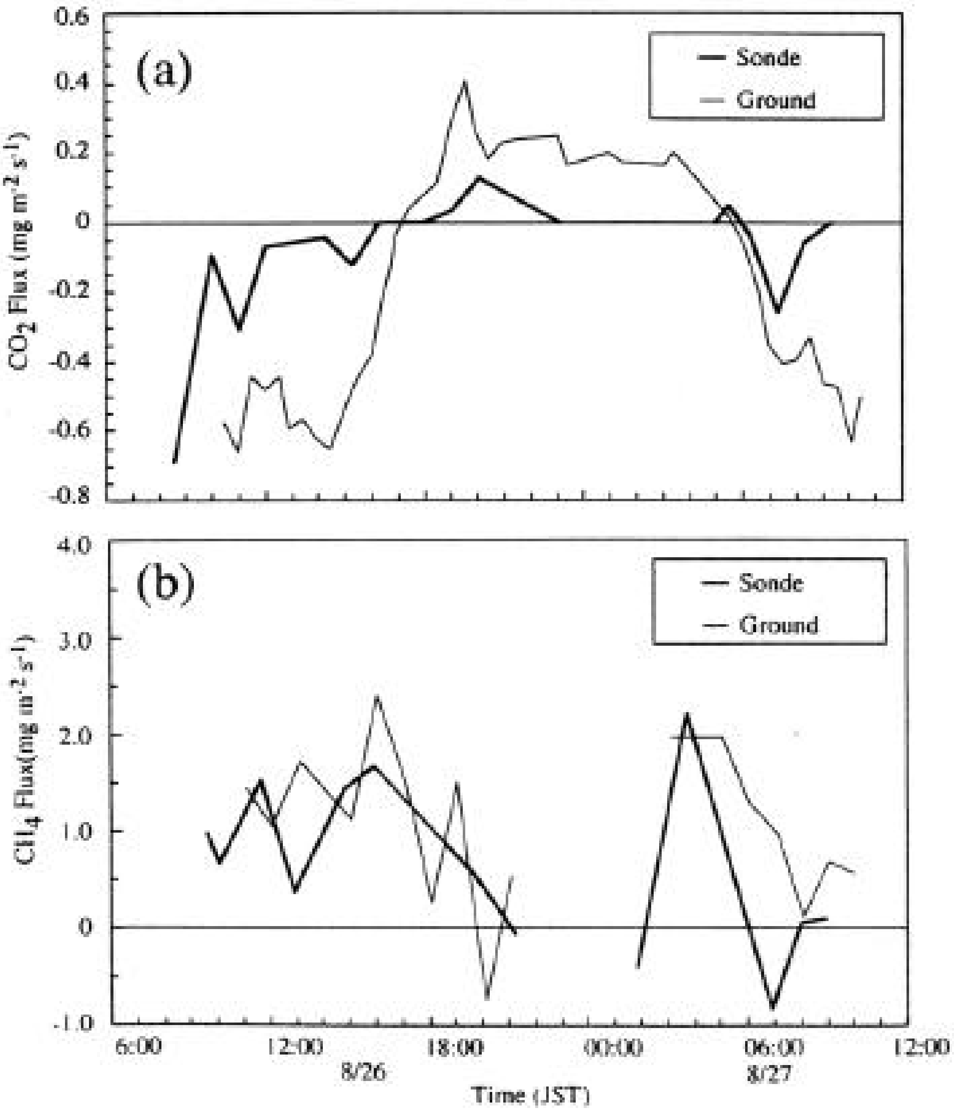

図1.23　水稲のすぐ上と20m上空のCO_2とCH_4フラックスの比較
(Hamotani *et al.,* 1997)

1.6　スケールアップについて

最近は地球全体の大気環境の理解のための大陸規模での地空相互作用の評価の必要性，あるいは地域スケールの植生による環境緩和の評価など，広領域での植生-大気相互作用研究の必要性が高まっている。一様性が保証されている範囲内は１点の観測で代表されるが，実際の地表面被覆は複雑な分布をしており，数多くの測定点を配置する必要がある。現実には，渦相関法などを多数の点に配置することは困難であるため，傾度法あるいはバルク法などが用いられる。しかしそれでも，大陸を流れる大河川の流域など広範囲を常時カバーするには現地にセンサーを多数配置す

る方法は現実的ではない。広域の相互作用を評価するためには，精度は落ちてもリモートセンシングの適用や，境界層モデルの適用が必要となる。これらについても，地表面の情報はグランドツルース(ground-truth)としてあるいは境界・初期条件として，あるレベルの測定は必要となる。また，広域の計算過程を単純にするためフラックスのパラメーター化の研究が必要である。

1.6.1 パラメーターの決定

広領域の地空相互作用の評価には，最も単純なフラックス評価法としてしばしばバルク法が用いられるが，この場合フラックスの値は直接バルク係数に依存する。海上のバルク係数については以前から多くのデータが積み重ねられている(たとえば，Tsukamoto *et al.,* 1991)が，植生に関してはあまりデータは得られていない。熱交換の評価におけるバルク係数(C_H)の評価には群落面温度の測定が必要であるが，植生の密度や，凹凸によってはその測定が容易ではないのもその理由の一つである。

植生の表面の湿度に至っては，さらに測定が困難である。現段階では，moisture availabilityが用いられることがある。これは水蒸気フラックスを

$$E = \rho C_E u(\alpha q_{sat} - q_{air})$$

あるいは

$$E = \rho C_E u \beta (q_{sat} - q_{air}) \qquad (1.37)$$

のように書き表わせるとしたときにあらわれる係数αあるいはβである。ここにq_{sat}とq_{air}はそれぞれ表面温度に対する飽和比湿と空気の比湿である。これについても裸地面については土壌水分と関係などが調べられているが (Barton, 1979, Kondo *et al.,* 1990)，植物については良くわかっていない係数である。特にβは気孔コンダクタンスのようなものまで風速でくくっている形となるので植生への適用は問題が残る。にもかかわらず，やむを得ず，さまざまなモデルやリモートセンシングによる蒸発散評価に頻繁に用いられている。moisture availabilityは一種の相対湿度であるので，空気の相対湿度と密接な関係があることが予想でき，αについては図1.24に示すように明確な関係が得られる(Monji *et al.,* 1996)。moisture availabilityは形としては単純な形をしているため，今後も便利なパラメーターとして利用されると考えられるが，さらにデータや考察の積み重ねが必要である。

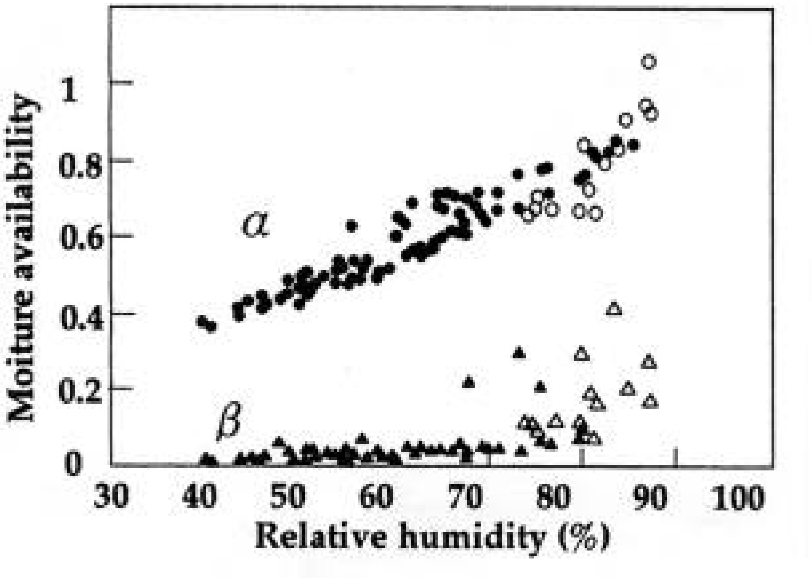

図1.24　表面の湿りを表わすパラメータと相対湿度の関係(Monji *et al.,* 1996)

微量気体のフラックスをバルク法で求めるためのパラメーター化が可能かどうかは，現状ではよくわからない。植物の内部の葉内のCO_2などの濃度をどのように表わすかが明確になれば，気孔抵抗の振る舞いの研究成果 (Agric. Forest Meteor. の特集号 "Modelling stomatal resistance", 1991 あるいは小杉, 1995など) とあわせて将来微量気体フラックスの広域評価につなげることが可能となろう。

注) moisture　availabilityは分野によっては，"蒸発効率"とという言葉が当てられているが，別の分野では，蒸散効率は"乾物重／蒸散量" と定義されており，あるいは他の分野では蒸発散効率は"潜熱と顕熱フラックスの和に対する潜熱フラックスの割合"を表わすことがあるので，注意が必要である。

1.6.2 リモートセンシングの適用

広域の状態を一瞬にとらえるにはリモートセンシング，特に衛星によるリモートセンシングが大きな威力を発揮している。ただし，これを植物・大気相互作用の評価に使うとなると障害が多い。植生指標(NDVI，SAVI，TSAVIなど)に関する研究は進んでいるが，これをフラックスと結び付けるのは容易ではない。

たとえば，Landsat-TMのデータを用いて熱のフラックス分布を求める場合を考えると；まず，表面温度分布を求める際に赤外域の波長帯(ch.6)の輝度をグランドツルースなどを用いて補正することから始めなければならない。表面の湿度はNDVIと関係づけようとする場合には，NDVIとLAIや気孔コンダクタンスとの関係などの基礎的な研究をさらに進める必要があるし，場合によってはバルク係数やmoisture availabilityの知識も必要となってくる。どれも不確定なものばかりであるが，それらを応用した広域フラックスの研究は進んでいる(たとえば，青野ほか，1998)。Landsat-TMのデータを用いた顕熱・潜熱フラックス評価の１例を図1.25に示す。

NOAAは毎日撮像が行われるがLandsatなどは16日に一回しかまわって来ない。しかし，将来は人工衛星観測の頻度や性能が増すことが考えられるので，植生・大気の相互作用の評価方法の研究は今から進めていくことが必要であろう。

フラックスの分布を評価する場合は，表面の値だけでなく大気の方の，風速，温度，湿度などの水平分布がわかっていなければならない。日本の場合であれば，AMeDASが平均17km間隔であるといっても地域環境評価や農業生産の場では十分に細かくない。気象要素の中では，風速分布は防災上も汚染評価にも重要であるので研究が進んでいる。特に，変分原理による内挿法(Sasaki,1958)を用いたMASCON (Dickerson, 1978)やMATHEW(Sherman, 1978)などは，測定点のない場所の補間や測器の設置状況にともなう不確定性を補正するためにも優れた技法であるといえる。しかし，湿度や微量気体の水平分布をこのような方法で求めることについては，現状では見通しがたたず近くの観測点の値で代用されている。

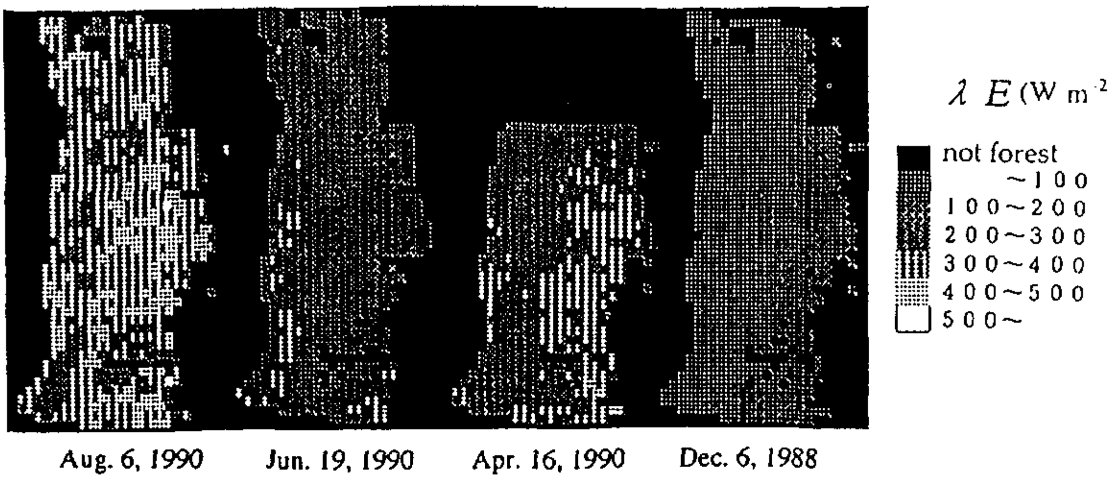

図1.25　Landsat-TMデータを用いた森林の潜熱フラックスの計算例
(青野ほか, 1998)

大気境界層の乱流モデルは1970～80年代に大きな進展をみせた。特に，クロージャーモデルやLESの発達は植生と大気の相互作用にも応用された。その後，クロージャーモデルは大気大循環モデルの境界層にも取り入れられ定着しつつある。現在，グローバルな気候モデルの関心の一つは，植生をどのように取り込むかであり，いくつかのモデル(Sib，BATSなど)が実用化されている。これらの，モデルは単純化されているとはいえ，植物や土壌に関する多数のパラメーターが含まれており，とても，現在の情報量ではカバーできない。初めに発表されたSibモデルをみても約50のパラメーターを与えなければならなず，しかもこれらについて確定的なことがわかっていないことが多い。これをみると，今後環境予測のために必要な植生・大気相互作用の研究がいかに膨大であるかがわかる。