

衛星観測を用いた北半球中緯度域の雲と降水とエアロゾルの動態把握に関する研究

長崎大学 環境科学部 環境保全設計コース
河本研究室 805035 金丸 佳夫

1. 目的

人為起因のエアロゾル(大気微粒子)が雲や降水といった気候要素を変化させると考えられている。本解析では衛星観測によって得られたデータを利用して、雲と降水とエアロゾルの動態を地域特性と結びつけて把握した。ただし、雲は低層の水雲を指す。エアロゾルは地表面付近に多く存在するため、雲がエアロゾルに対する影響を受けやすい水雲を対象とした。

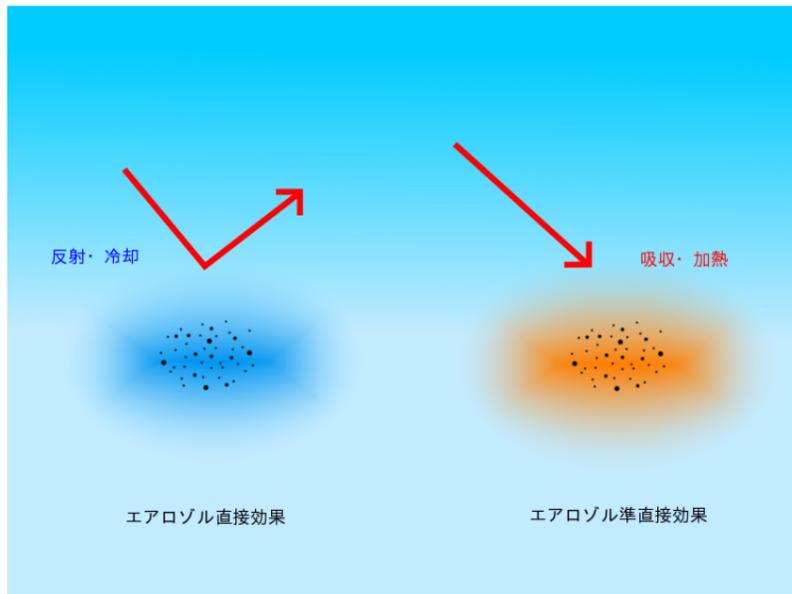


Fig.1 エアロゾル直接効果の概要図 エアロゾルとは大気中の浮遊する微粒子の総称を指す。エアロゾルの起源は火山のちりや黄砂のような地表から吹き上げられた自然起因のものや、工場や自動車など人間活動によって放出された人為起因のものがある。エアロゾルが直接太陽光を反射し地表面に届く日射量が減少することで気温低下を引き起こすことをエアロゾル直接効果とよぶ。また黒色炭素といったエアロゾルの成分によっては太陽光を吸収する。その結果地表面は気温低下するが、エアロゾルが存在する層を局所的に加熱させるエアロゾル準直接効果も考えられている。

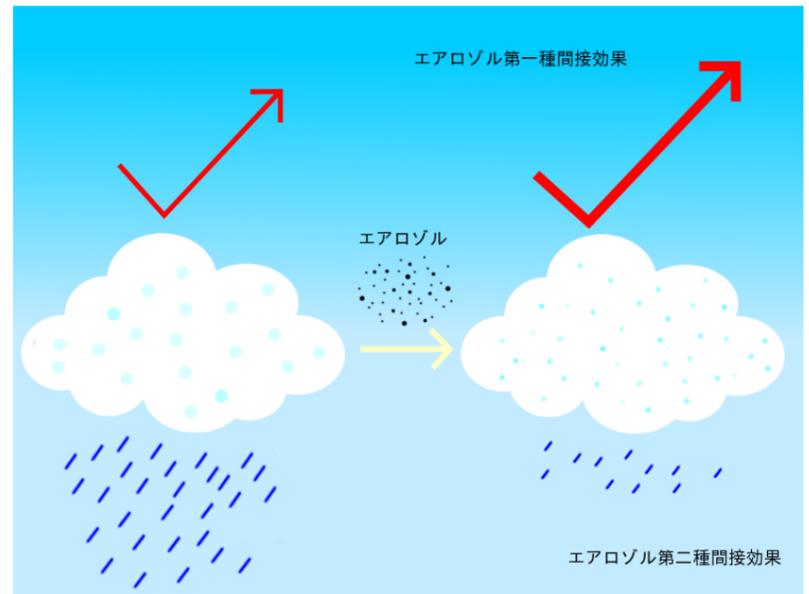


Fig.2 エアロゾル間接効果の概要図 エアロゾルは雲凝結核の働きも持つ。一定の条件下ではエアロゾルの増加が雲粒1粒あたりの水分量を減らし、雲粒(雲有効粒子半径)の大きさの減少と雲の厚さ(雲光学的厚さ)の増加による雲の反射率(雲アルベド)の増加を引き起こす。こうして地表面へ到達する太陽光を減少させ気温低下を引き起こす一連の流れをエアロゾル第一種間接効果とよぶ。また、雲粒の大きさが減少すると併合過程による雨滴への成長が阻害され非降水性の雲へ変化する。雲はより長時間存在し、雲量を増加させる影響をエアロゾル第二種間接効果とよぶ。

Table 1 衛星センサと物理量の一覧 TRMMPRは能動のセンサ、TerraMODISは受動型のセンサである。観測幅はTRMMPRでは約200km、TerraMODISは約2300kmである。

| | Environment | Cloud | Rain | Aerosol |
|------------|------------------------------------|--|--|--|
| TRMMPR | Freeze Height | | Rain Average Precipitation Water Sum Rain Flag | |
| TerraMODIS | Surface Temperature Water Vapor | Cloud Top Temperature Cloud Fraction Cloud Effective Radius Cloud Optical Thickness Cloud Water Path | | Aerosol Optical Thickness Angstrom Exponent Mass Concentration |

2. 方法

本研究では1997年に打ち上げられた人工衛星TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)に搭載されるPR(Precipitation Radar)と、1999年に打ち上げられた衛星TerraのMODIS(MODerate resolution Imaging Spectroradiometer)のそれぞれのセンサで観測された北半球中緯度域のデータ解析を行った。TRMMPRは降水、TerraMODISは雲とエアロゾルに関する物理量を観測する。対象地域はTable 2の10地点で(Fig.3)、地域の特徴によって分類をした。対象期間は2004年の1年間とし、データの分解能は 1×1 degの格子点とした。それぞれの地域の時系列を比較することで地域特性を把握する時系列解析と、2変数に対して散布図をとり各々の値に対する変化の傾向を把握する動態解析を行った。

Table 2 対象地域の特徴と分類 Floridaにおいては対象地域の半分ほどが陸上であるが、海上として扱った。

| 特徴 | 分類 | 地域 |
|--------|----|--------------------|
| 外洋地域 | 海上 | Bermuda, Midway |
| 湧昇地域 | 海上 | Canarias, Sandiego |
| 吹き出し地域 | 海上 | Kyushu, Florida |
| 発生源地域 | 陸上 | Hangzhou, Houston |
| 盆地地域 | 陸上 | Sichuan |
| 乾燥地域 | 陸上 | Delhi |

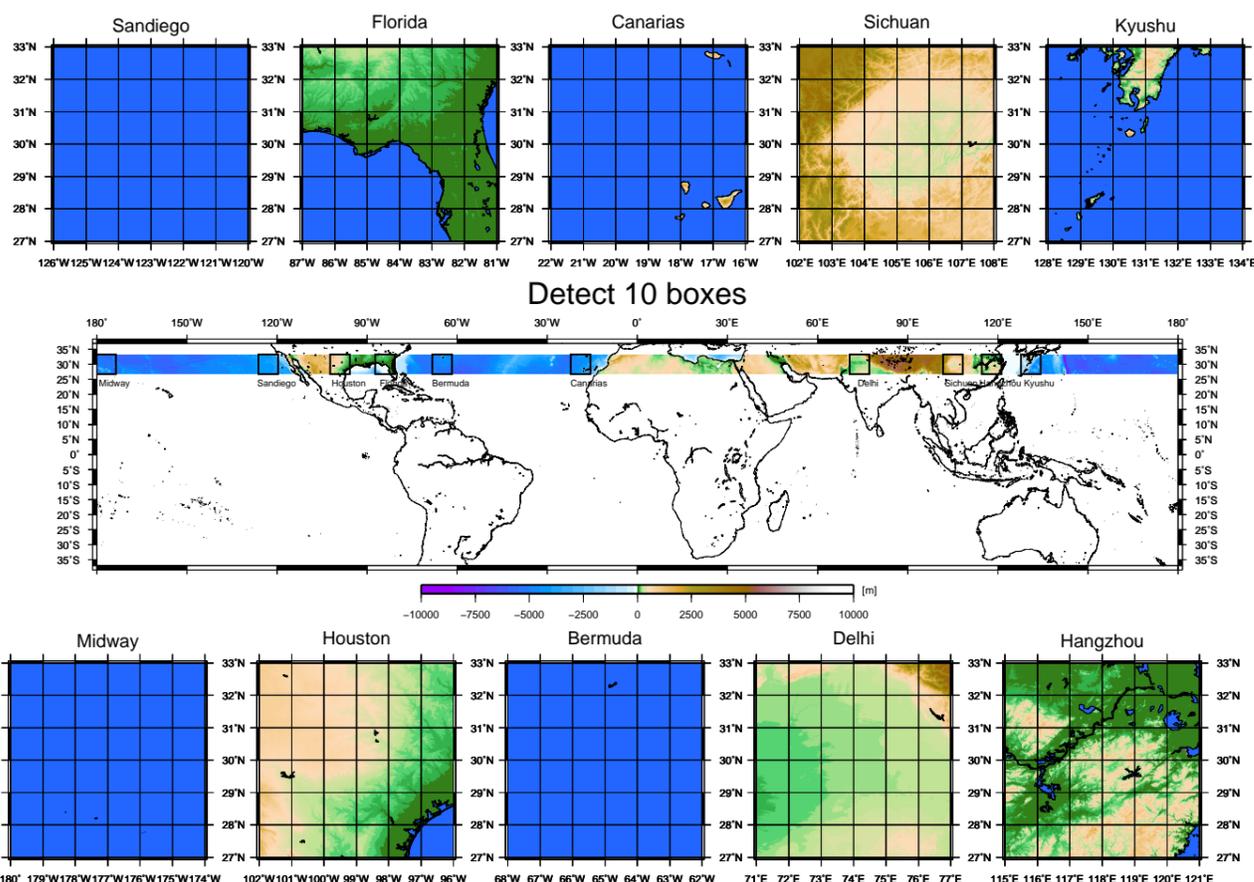
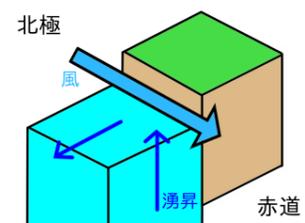


Fig.3 対象地域の位置と地形 標高データにおいてはUSGS(U.S. Geological Survey)のGTOPO30を用いた。GTOPO30は30秒(約1km)の全地球数値標高モデルである。ただし、GTOPO30は海底の地形については対象としていない。

湧昇とは

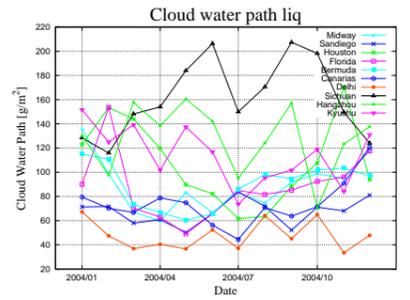
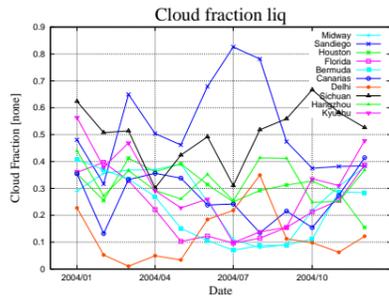
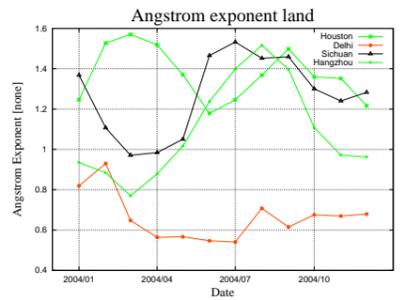
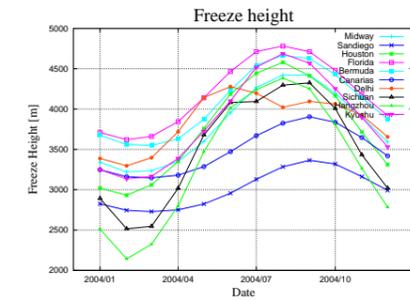
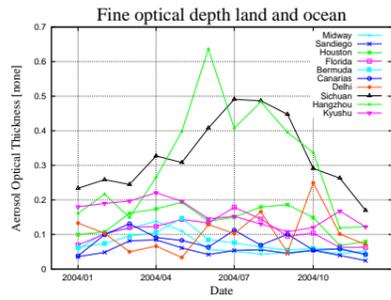
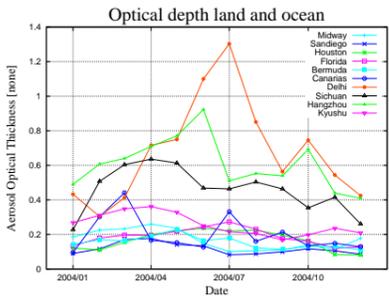
湧昇は深層の海水が表層に湧き上がる現象を指す。



風は海面上で起きる現象だが、海水は粘性を持つため風に引きずられて動く。海水が動く方向は風が吹く方向に対して北半球では右側となる。海水が動くとそれを補う流れが発生するが、大陸西岸で赤道方向に吹く風があると、海水を補う東側には大陸が位置する。そのため深層の海水による湧昇(沿岸湧昇)が起きる。湧昇が起きるとその海域は深層で低温の海水が上昇するため、海面の水温は低くなる。そして大気より海水の温度が低いと、大気の安定化によって対流活動が阻害される。対流活動の阻害は降水性の雲の成長を妨げることになる。

3. 時系列解析による結果

- Houston は人為起因と思われる小粒子エアロゾルが卓越するが、Hangzhou や Sichuan よりエアロゾルによる汚染の被害は少ない。
- San Diego と Canarias ではともに大気安定化が起きているが、雲環境は異なる。
- Delhi は砂塵による大粒子エアロゾルが卓越し、海洋の影響も起きている。
- Sichuan と Hangzhou および Kyushu は黄砂現象による季節変化が起きている。



4. 動態解析による結果

- 雲の成長過程に関わる。また、陸上は海上よりも発達段階が少なく衰弱段階が多い。
- Sichuan と Hangzhou ではエアロゾル間接効果による雲の変質の可能性がある。
- Sichuan ではエアロゾル準直接効果の可能性がある。

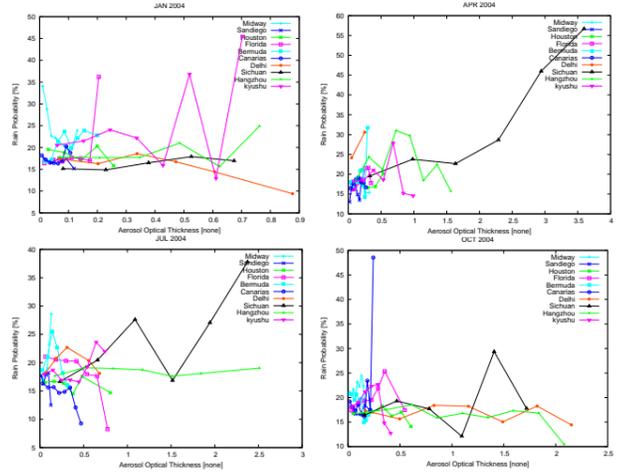
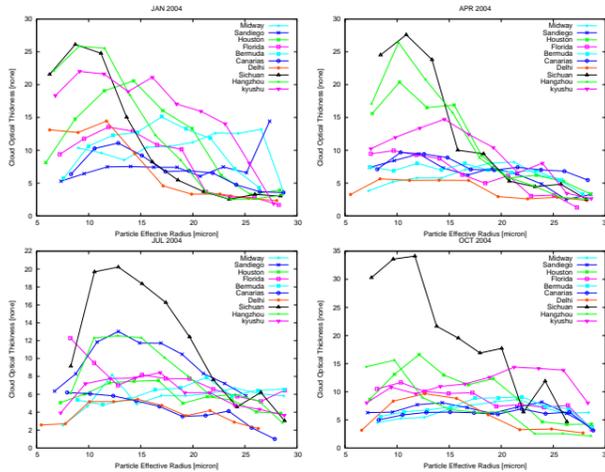
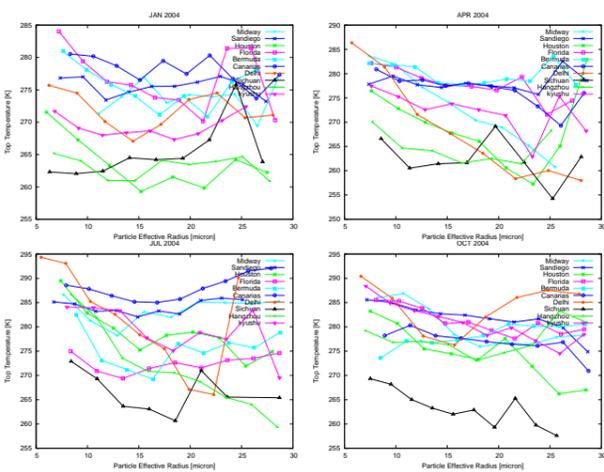


Table 3 Correlation Coefficient and Plot Number

| | JAN | APR | JUN | OCT |
|-----------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| Midway | -0.021 (683) | -0.462 (787) | 0.106 (744) | -0.090 (778) |
| San Diego | 0.024 (849) | -0.058 (880) | -0.088 (1074) | -0.251 (1036) |
| Houston | -0.375 (496) | -0.244 (558) | -0.153 (677) | -0.223 (688) |
| Florida | -0.161 (814) | -0.162 (716) | 0.061 (604) | -0.153 (826) |
| Bermuda | -0.159 (904) | -0.108 (909) | 0.101 (514) | 0.103 (735) |
| Canarias | -0.090 (830) | -0.175 (1023) | -0.021 (932) | -0.107 (726) |
| Delhi | -0.145 (535) | -0.511 (320) | -0.334 (735) | -0.021 (424) |
| Sichuan | 0.145 (756) | -0.157 (469) | -0.187 (595) | -0.290 (942) |
| Hangzhou | -0.093 (706) | -0.162 (451) | -0.324 (585) | 0.003 (703) |
| Kyushu | -0.032 (905) | -0.135 (715) | -0.147 (647) | -0.199 (847) |

Table 4 Correlation Coefficient and Plot Number

| | JAN | APR | JUN | OCT |
|-----------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| Midway | 0.096 (852) | 0.195 (958) | 0.042 (844) | 0.020 (928) |
| San Diego | 0.056 (949) | -0.136 (919) | 0.150 (1076) | 0.016 (1046) |
| Houston | -0.105 (736) | -0.266 (810) | -0.076 (857) | -0.213 (892) |
| Florida | -0.159 (903) | -0.235 (824) | -0.138 (889) | -0.176 (914) |
| Bermuda | 0.024 (954) | -0.054 (974) | 0.054 (751) | -0.014 (863) |
| Canarias | -0.248 (909) | -0.141 (1040) | -0.294 (936) | 0.003 (896) |
| Delhi | -0.289 (685) | -0.194 (528) | 0.052 (934) | -0.112 (472) |
| Sichuan | -0.306 (953) | -0.343 (777) | -0.234 (928) | -0.250 (1057) |
| Hangzhou | -0.334 (815) | -0.335 (724) | -0.219 (892) | -0.304 (737) |
| Kyushu | -0.129 (975) | -0.096 (834) | -0.183 (841) | 0.129 (954) |

Table 5 Correlation Coefficient and Plot Number

| | JAN | APR | JUN | OCT |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Midway | -0.195 (515) | -0.079 (364) | 0.164 (460) | 0.039 (543) |
| San Diego | -0.000 (541) | -0.025 (283) | -0.078 (128) | -0.094 (627) |
| Houston | -0.072 (108) | 0.040 (255) | -0.053 (367) | 0.016 (209) |
| Florida | 0.120 (611) | 0.165 (451) | -0.050 (400) | 0.140 (640) |
| Bermuda | 0.186 (682) | 0.087 (444) | 0.093 (451) | -0.095 (596) |
| Canarias | -0.019 (684) | 0.107 (489) | -0.102 (501) | -0.003 (618) |
| Delhi | -0.074 (262) | 0.002 (41) | 0.134 (135) | -0.023 (241) |
| Sichuan | 0.095 (61) | 0.345 (295) | 0.325 (388) | 0.120 (131) |
| Hangzhou | 0.053 (231) | 0.196 (358) | 0.102 (554) | -0.028 (626) |
| Kyushu | 0.146 (456) | 0.022 (395) | 0.003 (423) | 0.018 (492) |

5. 結論

Sandiego と Canarias では大気安定化が起きているが、地形の影響が大きく作用していると思われる。これは Sichuan においても同様で、盆地がエアロゾルを滞留させ、雲や降水への影響と疑われる証拠が示された。ただし本解析では対象地域が海洋との影響が大きい沿岸部の陸上が多く、内陸地域における動態の把握が不十分であった。解析手法としても、より高分解能のデータを用いた長期解析や、数値モデルを用いた検証が必要とされる。

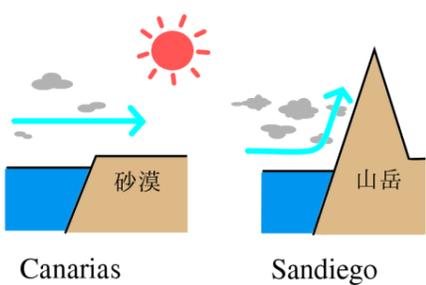


Fig.4 Canarias と Sandiego の雲環境のモデル図
Canarias の風下 (東側) には砂漠が位置し、Sandiego の風下には山岳が位置している。

Sandiego は偏西風が北アメリカ大陸を南北に横断する山脈に吹き込むことで地形性の強制上昇が起き、雲が発生しやすい。しかし大気が安定化によって、雲は成長せず非降水性の雲として存在している。一方 Canarias の風下には山脈がないため、地形性の強制上昇が起きない。さらにサハラ砂漠が分布し大気安定化も加わることで雲が発生しづらい。そうした環境下ではある程度大きい雲粒でなければ存在できず、その多くも衰弱していくと考えられる。

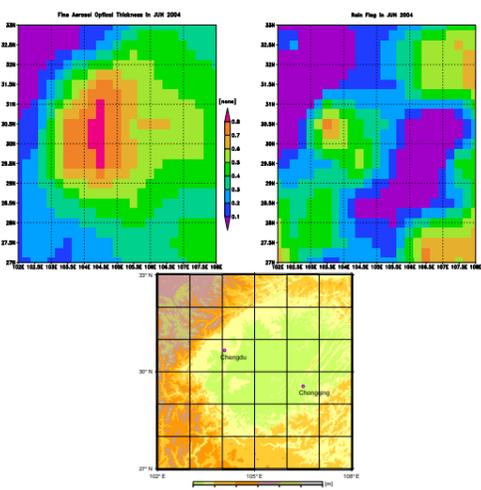


Fig.5 Sichuan の空間分布図 左上図はエアロゾル光学的厚さ、右上図は降雨発生確率、下図は地形図である。上図2枚は7月の月平均で、線形補間によるスムージングをしている。

Sichuan では準直接効果による大気加熱が対流活動の促進をもたらす、降水性の雲へ変化させた可能性がある。ただし、それぞれの空間分布が Sichuan の地理分布と類似している。Sichuan は四川盆地より広域であるため、盆地内部と周辺部の特徴の違いが表れている可能性もある。

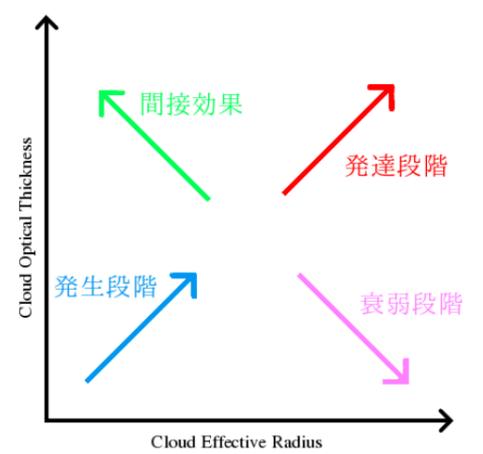


Fig.6 雲の成長過程の概念図 横軸を雲有効粒子半径に、縦軸を雲光学的厚さとする。発生段階や発達段階ではそれぞれが増加する。降水などによる衰弱段階では雲有効粒子半径の増加に対して雲光学的厚さが減少する。一方エアロゾル間接効果では雲有効粒子半径の減少に対して雲光学的厚さが増加する。

日平均における雲の成長過程の分類の可能性が生まれた。ただし、この図における妥当性は不十分である。この概念に基づく解析の把握が今後の研究課題として挙げられる。