

13. ASDEの降雨クラッタ対策効果

航空施設部

※加来 信之 三輪 進*

*東京電機大学

1. はじめに

空港面を走行する航空機の管制は、通常管制官の目視でおこなわれているが、夜間や霧等気象条件の悪い場合、このような監視が難しくなるため、地上監視専用の空港面探知レーダ(ASDE)が設置されている。しかしこのレーダ画面は、一次レーダの反射信号をそのまま表示しているため、航空機の位置は確認できるが、その航空機のコールサイン、機種等は識別できず、飛行場管制の支援装置としては能力が十分ではない。この問題点を改善するため、ASDEのビデオ信号から航空機を自動的に検出し、その航空機のコールサイン等の情報をデータブロックとして付加する、空港面航空機自動識別表示システム(ASSS) [1]を開発した。

しかし、ASDEは24.5GHzという準ミリ波帯の周波数を使用しているため、雨滴の反射で発生する降雨クラッタが発生しやすく、激しい降雨の場合、多数の偽像が生じることがある。また、このような降雨の中に航空機が入ると、偽像と真の航空機との区別がつかなくなり、追尾が途切れてしまうことがあった。この降雨クラッタ問題を改善するため、ASSSシステムの目標検出装置を改造し、仙台空港における雷雨データを用いて、クラッタ抑圧効果の評価実験を実施したので、その結果を報告する。

2. 降雨クラッタ

ASDEは、1.2cmという非常に短い波長の電波を使用しているため、少々の雨でも降雨による影響が大きく現れる。特に、雨滴の反射で生じる降雨クラッタは表示画面を覆うため、航空機の機影がクラッタに埋没しその位置を確認することができなくなる。

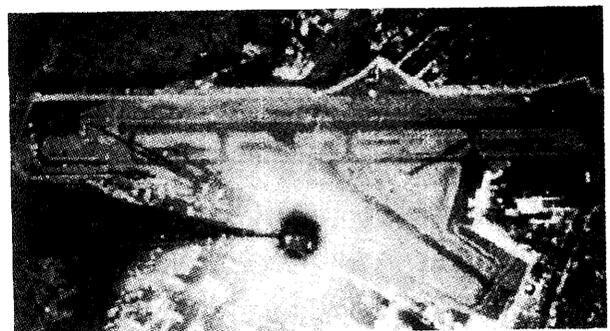
図1に、仙台空港で撮影した晴天時と降雨時のASDE画面を示す。(a)が晴天のときの表示画面で、芝地等反射信号がある部分は白く、滑走路、誘導路等の反射信号がない部分は黒く表示されている。画面中央部分では、黒く表れている誘導路上

に、反射信号が強い航空機が白く表示されている。これに対し(b)の降雨時の表示画面では、(a)では反射信号がなく黒く表示されている滑走路と誘導路が、降雨クラッタで白くなり、芝生との区別が難しくなっている。このように、降雨クラッタが発生すると、表示画面が降雨クラッタで白く覆われるため、通常なら滑走路上の航空機が明確に確認できるのが、判別不能となる。

ASDE信号の解析を行うため、高速で大容量なASDE信号を100MHzでサンプリングし、一時的にメモリに格納し、その後光磁気ディスクに記録するASDE信号記録装置[2]を製作した。また、全画面の信号を長時間記録するのが難しいため、画面の1部分を指定して、航空機の移動状態を記録できるようにした。この装置を用いて、図2に示す仙台空港の滑走路Aと誘導路Cの交差部分のASDE信号を、距離方向では10ns(1.5m)単位で、方位方向は送信パルス間隔(0.026度)で測定した。図



(a) 晴天時



(b) 降雨時

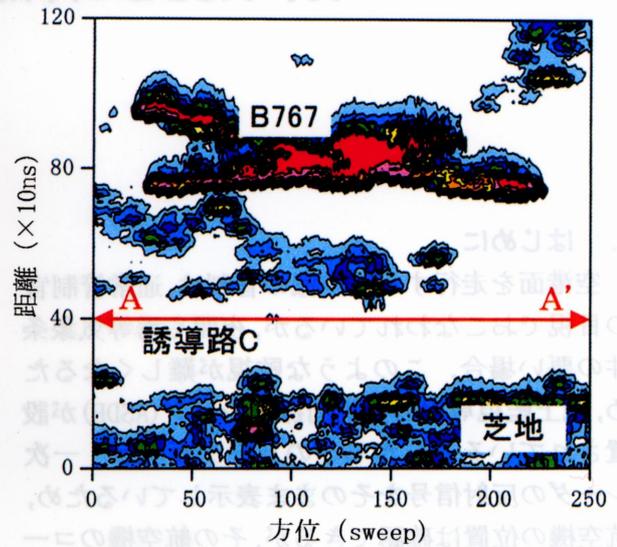
図1 ASDE表示画面



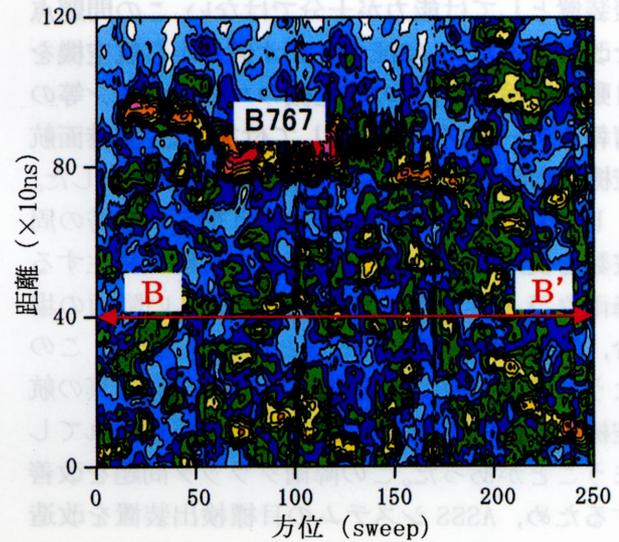
図2 仙台空港の配置図

2の赤枠の範囲を測定した信号例が図3(a)及び(b)で、ASDE信号の強度（最大振幅2V）を10等分して、色別に0.2V毎の等高線で表したものである。(a)は晴天時のときのもので、滑走路と誘導路は、反射波が非常に弱いため、最小単位の0.2V以下の白色で示されている。これに対し、周辺の芝地は反射波が存在するため、滑走路・誘導路との区別が明確に現れている。また、(a)の上部に表れている強い信号の塊は、大型航空機B767の反射信号である。このように、ASDE信号は狭い幅のパルスを数多く照射するため、航空機の形を読み取ることが可能である。

航空機を明確に認識できるASDEであるが、しかし強い雨が降ると(b)に示すように、雨滴からの反射信号で、滑走路・誘導路と芝地との区別が不可能となる。これは、平成12年7月3日に仙台空港における雷雨時（降雨強度17mm/h）の降雨クラッタである。この図では信号強度を色分けしているため、航空機の存在がわかるが、ASDE表示装置は単色画面であるため、図1に示すように、降雨クラッタが強くなると全体的に白くなり、航空機の視認が難しくなる。



(a) 晴天時



(b) 降雨時（降雨強度17mm/h）

図3 ASDE信号の実例

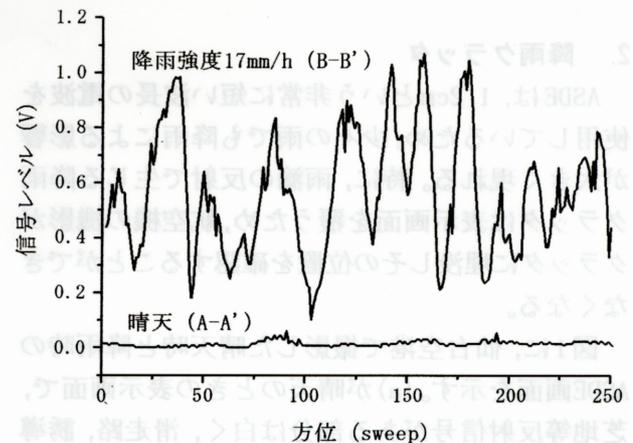


図4 信号レベル（A-A'、B-B'断面）

(a)のA-A' と(b)のB-B' の赤線上の信号レベルを図4に示す。ここは誘導路Cの部分で、晴天の場合はほとんど零に近い信号レベルであるが、雨滴の反射信号レベルは、0.1～1.05Vの間にスパイク状に広がっている。レーダ信号の目標検出に一般的に使用されている、スレッシュホールドレベル判断方式では、このようなクラッタ信号があると、多数の誤目標が発生することになる。

3. 降雨クラッタ対策

一般的な管制用レーダの場合、目標とする航空機の飛行速度が速いため、クラッタと航空機とのドップラー周波数の差を用いて、クラッタを抑圧する方法が用いられている。しかしASDEの場合は、目標とする航空機の移動速度が遅いことと、停止した航空機も把握する必要があるため、ドップラー周波数の差を用いたクラッタ処理を使用することができない。

そこで、目標とクラッタの相関特性の差に着目して、画像処理において2値画像の小さな雑音を取り除く収縮処理方法[3]を、レーダのクラッタ処理に応用することにした。今回実施したASDEの降雨クラッタ対策の主な部分は次のとおりである。

- (1) 収縮処理
- (2) 2次元移動平均処理
- (3) クラスタリングラベル付け処理

収縮処理では、相関長の短い降雨クラッタをなるべく除去し、その後2次元移動平均処理によりパルス状のクラッタのレベルを抑え、さらにクラスタリングラベル付け処理で全ての目標の塊毎にラベルを付加する。これらの処理を行った後、目標の大きさ判定処理で航空機より大きな目標だけを選び出す。

3.1 収縮処理

収縮処理は、画像処理における雑音除去法の一つで、通常は収縮処理と膨張処理とがセットになり使われる方法である。収縮は0の画素の近傍を0に変え、膨張は1の画素の近傍を1に変える操作を行うもので、2値画像の小さな雑音を取り除くのに用いられている。収縮→膨張と組み合わせると孤立点や突起を取り除くことができる。

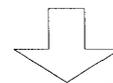
図5に収縮処理の概念図を示す。膨大なASDE信号をリアルタイムに処理するため、処理単位(セル)は距離方向に1/512NM, 方位方向に1ACP(0.088度)とした。図の各升目がこれに該当する。升目の1は、距離方向の前後16セルの信号を基にCFAR処理で求めたスレッシュホールドレベルを超えたセルを示している。0はこのレベル値以下のセルを表している。墨色の升目が収縮処理を行う対象セルを表し、薄墨色の部分が収縮処理を行う範囲を表している。なお、処理範囲は3×3または5×5等の奇数範囲が選択可能である。

処理方法は、対象セルの周りの処理範囲(図では3×3)のセルが全てスレッシュホールドレベル値を超えている場合は対象セルが有する信号の値をそのまま保持し、一つでもスレッシュホールドレベル以下の場合は対象セルの値を0とする。この処理を順次全てのセルに行い、相関長の短いクラッタを消去する。

3.2 2次元移動平均処理

相関長の短いクラッタを収縮処理で抑圧した後、レーダ信号のクラッタ処理に使われる2次元移動平均処理を行う。これは、収縮処理で消え残ったクラッタの信号値を平均化して目標判定のスレッシュホールドレベル以下にするとともに、収縮

1	1	1	0	0
1	1	1	1	0
1	1	1	1	1
0	0	1	1	1
1	1	1	1	1



1	1	0	0	0
1	1	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	0	1	1

■ :対象セル □ :収縮処理範囲

図5 収縮処理の概念図

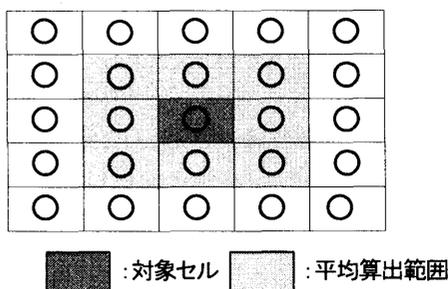


図6 2次元移動平均の概念図

処理によりくびれ等が生じている航空機の機影を改善することを目的としている。

図6に2次元移動平均処理の概念図を示す。収縮処理と同様に、処理範囲は3×3または5×5を選択可能で、墨色の升目が2次元移動平均処理を行う対象セルを表し、薄墨色の部分がその処理を行う範囲を表している。

処理方法は、対象セルの周りの処理範囲（図では3×3）のセル全ての値を平均し、その平均値を対象セルの信号の値とする。

3.3 クラスタリングラベル付け処理

収縮処理と2次元移動平均処理をおこなった信号を、距離方向の前後64セルの信号でCFAR処理を行い、得られたスレッショルドレベルを使って全信号を2値化処理する。さらに、この2値化された信号をブランクマップデータと照合して、滑走路、誘導路等航空機の存在するエリアの信号を抜き出す。その後、この2値化信号で値1をとるセルに着目し、図7に示すように、連続して値1をとるセルには同一のラベルを付加していく。そして次の目標位置算出処理において同一のラベル

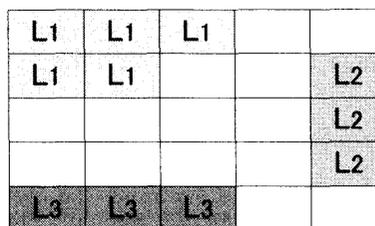


図7 クラスタ処理の概念図

が付いたセルの塊を目標と認識する。

このクラスタリングラベル付け処理により、目標の大きさと位置の算出が可能になるため、目標とする航空機の大きさより小さいセルの塊を排除することで、降雨クラッタの抑圧がさらに可能となる。

4. ASDE 目標検出装置の概要

図8に、これらクラッタ抑圧処理を用いたときのASDE目標検出装置のブロック図を示す。ASDEからビデオ信号を受け取りデジタル信号に変換してから、距離方向と方位方向に積分処理してリアルタイム処理が可能なデータ単位にする。その後、滑走路、誘導路、エプロン等航空機が存在する区域だけをクラッタ抑圧処理するように、その区域の信号に印を付加するBLANK処理を施し、ビデオバッファに格納する。

収縮処理の対象セルの前後64セル（距離方向）の信号強度からCFAR処理でスレッショルドレベルを算出し、外部で設定した収縮パラメータを基に、対象セルの収縮処理を行う。その後、2次元移動平均処理を行い、2値化BLANK処理で滑走路

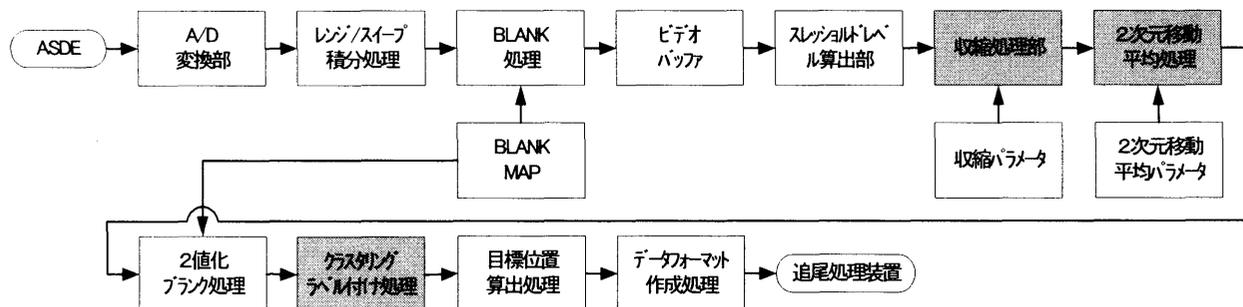


図8 ASDE 目標検出装置のブロック図

等の部分だけの2値化信号を作成する。この信号をクラスタリングラベル付け処理をし、目標の塊ごとにまとめる。そして目標位置算出処理で、その塊の中心位置を目標の位置とし、目標毎にデータフォーマットを作成して追尾処理装置に出力する。

5. 降雨クラッタ抑圧の効果

雷雨時に、B767が着陸し滑走路Bから誘導路Cを通り、エプロンまで走行したときのASDE信号をビデオテープに記録することができた。記録時の雷雨の降雨強度は約17mm/hで、ASDEの使用限界である16mm/hより強い雨であった。このときのASDE信号を、図2の黄色枠の部分抜き出し、等高線表示したものが図9である。これは、図3のASDE信号の例とは異なり、図8のブロック図のレンジ/スイープ積分処理で変換したASSSシステム内部の処理単位で表しており、一つのセルが距離方向では1/512NM、方位方向では1ACP単位である。

図の中心の信号強度が強い部分が航空機の機体による反射波で、他の部分は降雨によるクラッタである。このように積分処理を施しても、滑走路上のクラッタは抑圧されず、誤目標が発生する程度に分布している。

この雷雨のデータを用いて、B767の検出と追尾処理に最適な収縮処理パラメータと2次元移動平均パラメータを求め、種々のパラメータの組み合わせによる実験を行った。このとき試みた各種パラメータは次のとおりである。

- (1) スレッシュホールドレベルの算出
CFAR 係数 (1.0, 1.6)
- (2) 収縮処理パラメータ
処理なし, 3×3, 5×5
- (3) 2次元移動平均処理パラメータ
処理なし, 3×3, 5×5

これらのパラメータの組み合わせによるクラッタ抑圧処理を行い、B767が着陸してからエプロンで停止するまで目標検出、追尾処理が可能か否かを試みた。その結果、降雨強度：17mm/hの降雨状態においてB767が着陸から停止まで追尾可能な最適パラメータは、CFAR係数が1.0、収縮処理範囲が5×5、2次元移動平均処理範囲は3×3ま

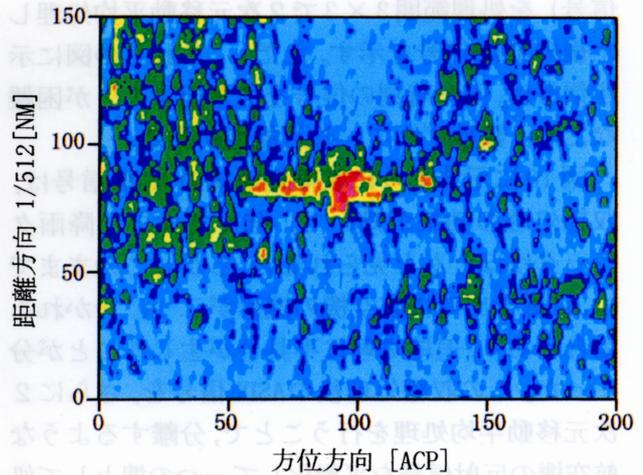


図9 降雨時のASDE信号

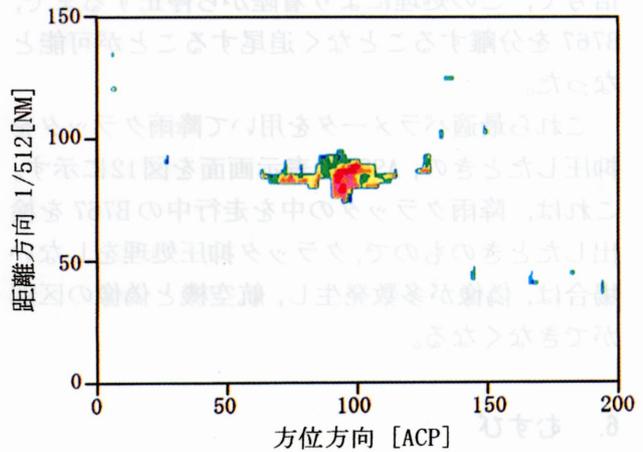


図10 収縮処理後のASDE信号

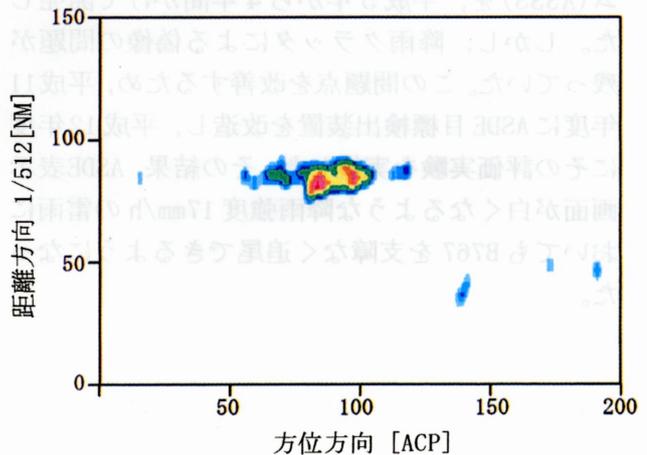


図11 2次元移動平均処理後のASDE信号

たは5×5であることが判明した。

図10に処理範囲を5×5とした収縮処理後のASDE信号を、図11に収縮処理後の信号（図10の

信号)を処理範囲 3×3 で2次元移動平均処理した後のASDE信号を示す。ただし、これらの図に示す信号は、同一時刻の信号を抜き出すことが困難なため、数秒ずれている可能性がある。

図10に示すように収縮処理後のASDE信号は、収縮処理の効果が効いて、強く大きな降雨クラッタはほとんど見られない。しかしこのままでは、目標検出時に航空機の機影が二つに分かれる場合があり、追尾処理に不具合が生じることが分かった。この収縮処理後のASDE信号を、さらに2次元移動平均処理を行うことで、分離するような航空機の反射信号を平滑化して一つの塊として処理できるようにした。図11が、平滑化したASDE信号で、この処理により着陸から停止するまで、B767を分離することなく追尾することが可能となった。

これら最適パラメータを用いて降雨クラッタを抑圧したときの、ASSSの表示画面を図12に示す。これは、降雨クラッタの中を走行中のB767を検出したときのもので、クラッタ抑圧処理をしない場合は、偽像が多数発生し、航空機と偽像の区別ができなくなる。

6. むすび

空港面を走行する航空機を、ASDE信号を用いて検出・追尾する空港面航空機自動識別表示システム(ASSS)を、平成5年から4年間かけて開発した。しかし、降雨クラッタによる偽像の問題が残っていた。この問題点を改善するため、平成11年度にASDE目標検出装置を改造し、平成12年度にその評価実験を実施した。その結果、ASDE表示画面が白くなるような降雨強度17mm/hの雷雨においてもB767を支障なく追尾できるようになった。

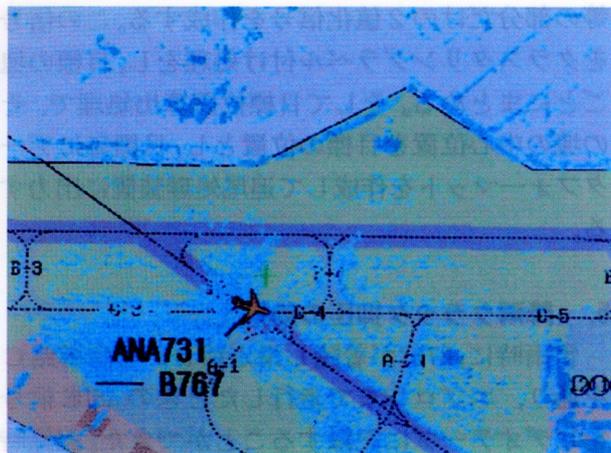


図12 クラッタ抑圧処理を行ったときのASSS画面

ただし、この降雨クラッタ抑圧効果は、データが取得できた降雨強度17mm/hのクラッタの中を走行したB767の機体に関するもので、これより強い降雨強度の場合や、他の航空機ではどのような効果が得られるか明らかでない。そのため、二つ以上のパラメータを用意しておき、降雨強度によりそれらを使い分ける方法を考える必要がある。

参考文献

- (1) 加来, 北館: "準ミリ波レーダによる空港面監視システム", 電子情報通信学会技術報告 SANE97-40, 1997
- (2) 加来, 北館: "空港面探知レーダの航空機反射信号特性", 電子航法研究所報告, No. 88, 1997
- (3) 清水, 幸谷, 三輪, 加来: "収縮法を用いたレーダSCRの改善", 電子情報通信学会論文誌B, Vol. J83-B, No. 7, 2000