

すでに松枯れが日本に侵入して約百年、長年の研究からその恐ろしい伝染のメカニズムも解明され、各地で大がかりな対策も取られています。にもかかわらず被害は拡大しその最前線が北東北に達しています。被害拡大の原因の1つが防除対策の難しさです。対策の決め手は、マツノマダラカミキリが産卵した枯れ木（要防除木）を如何に見つけ、駆除するかですが、いくら山に入って見回したところで樹木の位置やその量、被害の範囲を正確に把握することはできません。また、把握時間が遅れるほど、防除不要な木まで含めて数えてしまうこととなります。この問題に対し取り組まれた、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業（平成18~21年度）研究を、次ぎの3課題で紹介します。

## ー特別講演：松枯れ被害のピンポイント防除についてー

### 岩手県における被害分布の実態と県の対応状況

岩手県林業技術センター 小澤 洋一

#### 1 はじめに

岩手県のマツ材線虫病は、昭和54年に県南部で初めて確認され、以来じわじわと北上を続けてきた。平成21年11月には新たに盛岡市への被害拡大が確認され、防除関係者に衝撃を与えた。被害量は平成15年に過去最高の54,071 m<sup>3</sup>を記録し、以後漸減しているものの、平成20年時点で44,866 m<sup>3</sup>と依然高い水準で推移している。

岩手県のアカマツは天然林・人工林を合わせると、県全体の森林面積の19%を占める重要な森林資源であり、マツ材線虫病の拡大に対し様々な防除対策を講じてきた。

防除の基本目標は、被害発生の「拡大防止」と防除地域の「重点化」であり、被害先端地域を重点地域と定め、種々の防除対策を展開している。また、被害地域を取り囲むように「松くい虫被害防除監視帯」を設定し、35名の監視員を配置、1年を通じて枯死木の探索を行っている。

このような努力にも関わらず被害が拡大し続ける理由は、ひとえに「マツノマダラカミキリの繁殖源」がどこかに残っているからである。

いかに優れた駆除技術があっても、繁殖源を高精度で探索できなければ防除効果は望めない。ただし、「繁殖源をくまなく探す」ことは、相当に大変なことである。

新たに開発された「航空写真とGIS、GPSを活用したピンポイント防除法」は、この「くまなく探す」という課題を克服できたのか、現行の岩手県の探索方法と比較し、新技術の有効性を検討する。

#### 2 現行の枯死木探索

##### (1) 監視員による地上調査

前述のとおり、35名の監視員が被害先端地域を中心に枯死木を探索している。監視員は定められた担当地域を、月に6~8日かけて探索する。地上からの探索で、相当数の被害木を見つけられるが、地形によって見えない場所も少なくない。とはいえ担当地域の全アカマツ林を踏査することなど不可能である。

## (2) ヘリコプターによる航空調査

岩手県では4月と10月に、ヘリコプターからの目視による航空調査を行ってきた。これまでに不可視領域にあるたくさんの被害木を見つけてきたが、ヘリコプター調査にも、解決しきれない様々な問題がある。

- ① 被害木の探索・記録が調査者の熟練度によって異なる。
- ② 熟練者でも、短時間に多数の枯死木を記録、微妙な病徴の判定は困難。
- ③ 航空調査後の地上からの枯死木の再探索は相当の時間と労力を要する。

## 3 新技術による枯死木探索

平成21年11～12月の間に、盛岡市周辺の被害先端地域で開発された探索システムを試験運用した。

### (1) 航空写真による枯死木の探索

開発されたパソコン用ソフト「PhotoDisp」(GIS)の画面上で、精密に幾何補正された近赤外カラー写真とナチュラルカラー写真から枯死木を読み取り、位置データとなるポイントデータを作成した。同年の春のヘリコプター調査(筆者同乗)と比して、より多くの枯死木を記録することができた。

### (2) 地上調査での枯死木再探索

「PhotoDisp」で作成したポイントデータと空中写真を、GPS付きPDA端末で動作する「PhotoNavi」に転送し、表示される自分の現在位置と枯死木の位置を見ながら枯死木を探索した。

現在位置が多少ぶれるものの、全く迷うことなく林内の枯死木に到達した。8か所の松林で30本程度を探索したが、全て見つけることができた。

### (3) 新たに開発されたシステムはヘリコプター調査の問題を解決できたのか

- ① 被害木の探索・記録が調査者の熟練度によって異なる。  
短期間のトレーニング、経験で実務水準に到達する。
- ② 熟練者でも、短時間に多数の枯死木を記録、微妙な病徴の判定は困難。  
画像は拡大・縮小が可能、さらに近赤外カラーとナチュラルカラーを切り替えることで緻密な探索が可能
- ③ 航空調査後の地上からの枯死木の再探索は相当の時間と労力を要する。  
GPS付きPDA端末により、時間と労力を大幅に軽減。

## 4 おわりに

新たに開発されたシステムは、「感染源をくまなく探す」という点で、これまでの手法を大きく改善させるものと考えられる。また、航空写真からは枯死木だけでなく、「アカマツ」そのものの正確な分布や、地形図には乗らない作業道などたくさんの情報を得られる。これらのデータをGIS等によって管理し、関連するデータと組み合わせることによって、被害分布の経年変化、防除の重点化地域、被害拡大経路の予測など、総合的な防除戦略の策定が可能である。

## 岩手県のマツ枯れ

### H18-19枯死木分布

昭和54年県南で初確認、以来、拡大

被害は県南部を中心に12市町に及ぶ

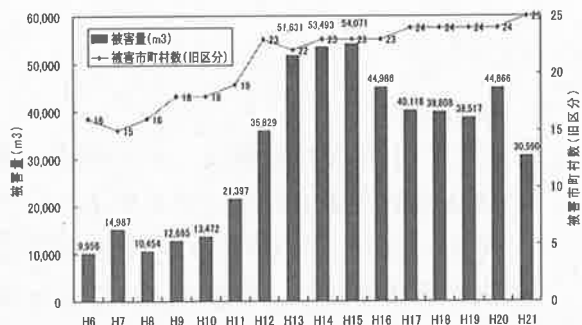
平成21年11月 盛岡市に侵入

アカマツは、岩手県では県木、

天然、人工林とも被害量大



## 岩手県の被害量の推移



## 松くい虫被害防除監視帯



幅2~4km

総延長245km

監視員(35名)の配置

徹底した探索と防除

3~4名の調査員が、左右を分担しながら探索する



複雑な地形、広い森林では現在位置を見失うことがある。



## 課題は解決できたのか？

1 枯死木の探索・記録が調査者の熟練度によって異なる

被害木の写真判読: トレーニングで実務水準に

2 熟練者でも、短時間に多数の枯死木の記録、微妙な病徴の判定は難しい

写真は動かない... いくらでも調べられる

3 地上調査は時間・労力を要する

PDA端末で迷うことなく誘導

## 北東北における松くい虫被害の生態的特徴

独) 森林総合研究所東北支所  
チーム長(松くい虫担当) 中村 克典

### 1 はじめに

松くい虫被害の実体は、マツ材線虫病と名付けられたマツ類樹木の伝染病である。この病気の病原体であるマツノザイセンチュウ（以下、センチュウ）は、マツノマダラカミキリ（以下、カミキリ）とその近縁のカミキリムシによって媒介される。カミキリの成虫の活動期間は、北東北では7月～9月頃であり、雌成虫はその頃に発生したマツの衰弱・枯死木に産卵する。産卵された翌夏に成虫となるまで枯れ木の中で生活し、枯れ木にセンチュウがいれば成虫はこれを体につけて枯れ木から脱出し、生きたマツにセンチュウを運び、感染させる。

松くい虫の防除では、センチュウを媒介するカミキリの発生源（すなわち、感染源）となる枯れ木を成虫が発生する前に処分してしまう伐倒駆除が基本的な手法であり、広く実施されている。しかし、センチュウの強い病原力と、カミキリの旺盛な繁殖力のため、伐倒駆除では90%以上のカミキリを死滅させなければ防除効果が表れないとされており、防除の必要な被害木（要防除木）の発見漏れや駆除漏れは防除失敗の最大の原因と考えられてきた。

### 2 要防除木を漏れなく探す技術

松くい虫被害木の探査は通常、地上からの観察によって行われる。しかし、広大で地形の起伏もあるマツ林に点在する被害木を地上からの調査で漏れなく探すことは困難である。防除に熱心な自治体では、ヘリコプターを使った空中探査を実施してきたが、この方法では(1)微妙な針葉変色は判断に悩む、(2)時間が限定されていて、広範囲を同精度で探査することができない、(3)被害木を見つけてもその正確な位置を記録できず駆除漏れになる、などの難点があった。

そこで我々は、松くい虫被害探査にオルソ航空写真を導入することを提案した。航空写真であれば、撮影された範囲の全体について時間をかけてしっかり被害木を探すことが可能であり、赤外カラー写真を用いると被害木を肉眼で見るより鮮明に写し出すことができる。また、オルソ化された写真であれば、写真上で正確な位置座標（緯度、経度）を割り出すことができ、GPSを用いて確実に被害木にたどり着くことができる。我々はプロジェクト研究「航空写真とGISを活用した松くい虫ピンポイント防除法の開発」を通じ、高精度・高効率に松くい虫被害木を探し出すための航空撮影、写真判読技術、各種ソフトウェアの開発に取り組んできた。

### 3 寒冷地で要防除木を選別するのに適した時期

北東北などの寒冷地では、低温のためセンチュウやカミキリの活動が抑制されるため、病気の進展にばらつきや遅れが生じ、結果として松くい虫被害木が一年を通じて発生す

る。一方、カミキリ成虫は北東北でも夏の一時期にしか発生せず、ちょうどその時期に衰弱したマツだけがカミキリの産卵対象となる。したがって、これらの木で針葉変色が目立つようになった頃を狙って航空写真を撮影すれば、要防除木が高効率に検出できるはずである。しかし、北東北における松くい虫被害による針葉変色木の発生経過や変色の進展、また針葉変色時期とカミキリの産卵の関係に関する知見は不十分であった。そこで我々は、北東北における松くい虫被害の生態的特徴の解明に向けて、秋田県夕日の松原の海岸マツ林および岩手県紫波町の内陸アカマツ林において、広域を対象とした毎月の針葉変色木発生確認調査と、発見した針葉変色木でのカミキリ産卵痕調査を行った。

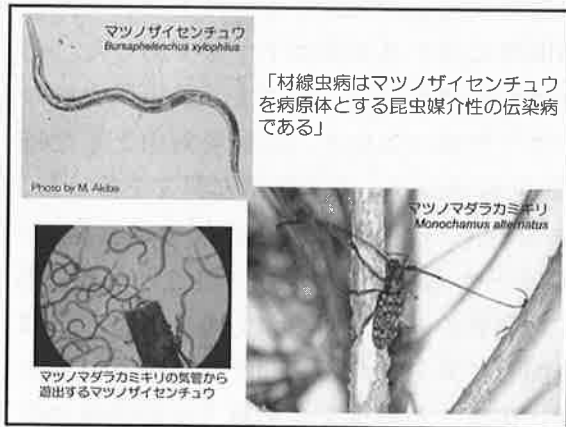
針葉変色木は6月頃と10月頃に緩やかなピークをもつ連続的な発生経過を示した。カミキリの産卵痕は6月から11月に針葉変色が始まった木で見られた。このことから、北東北のマツ林では、早期に針葉変色が始まっても病気の進展が遅くカミキリの産卵時期になって全身病徴となる木や、樹幹部は早く衰弱してカミキリの産卵を受けても針葉には11月まで変色が見られない木があり、短期間に限定した針葉変色観察では要防除木の抽出が難しいことが分かった。ただし、各月の針葉変色開始木が産卵を受けるリスクを比較すると8~9月変色開始木がもっとも産卵を受けやすく、また産卵痕密度は7~10月変色開始木で高かった。さらに、6月から11月の針葉変色木から採取した伐倒丸太で翌夏のカミキリ成虫の発生を調べたところ、11月針葉変色木では発生はなく、6月変色開始木では非常に少なかった。これらのことから、当該地域の松くい虫被害木でカミキリが主に生息するのは7月~10月の針葉変色木であり、これらを抽出するために最適な選別・撮影時期は10月後半~11月である、と結論した。

#### 4 おわりに

一連の研究を通じ、航空写真を利用した松くい虫被害木探査の手順を示すことができた。この技術は本来、広いマツ林に散在する少数の被害木を発見しなければならないような条件下でもっとも有効である。その点で、松くい虫被害侵入後の履歴が浅く、各地に広大なマツ林が残されている北東北ではこの技術の適用場面は多いと言える。

一方、東北地方でも一旦松くい虫被害が侵入・定着してしまうと、年々に発生する被害木の数は決して少なくない。しかし前述のように、沢山ある被害木のうち要防除木、すなわち実際にカミキリが生息している木は一部である。伐倒駆除に際し、要防除木を選択的に処理し防除の効率化を図ろうとする「秋田方式」が提唱されている。秋田方式は、選択の過程で低率な駆除漏れが発生しても低温のため爆発的な被害拡大が生じない寒冷地でのみとることのできる防除のオプションである。航空写真による被害木探査は、針葉変色を手がかりに要防除木である可能性の高い枯れ木を広域で抽出するための方法としても有望である。

このように、航空写真を利用した被害木探査は、寒冷地の松くい虫対策において特にその有効性を発揮できるものと期待される。



空中探査から航空写真へ

- ◆ 松くい虫被害対策における空中探査の有効性は従来より指摘されてきた
- ◆ 防除に熱心な自治体で広く導入されている

◆ 解消されていない目視の問題点  
： 視認距離、あいまいさ、処理時間

◆ 正確な位置情報がとれない! → 駆除漏れを排除できない

**航空写真で解決!**

- ◆ 要防除木を検出するための撮影条件? いつ、どうやって
- ◆ 要防除木にたどり着くための技術? わかりやすく、使いやすく

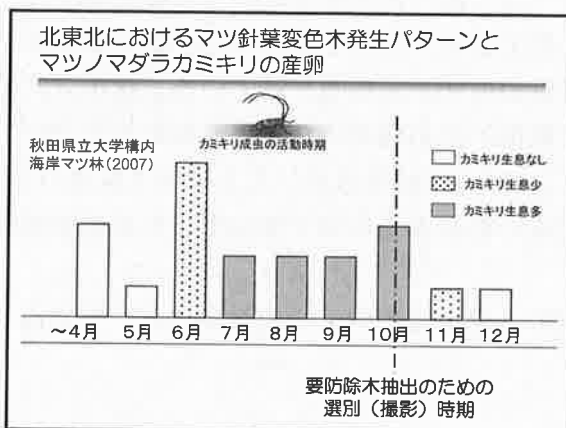
寒冷地での被害木発生とカミキリの産卵

- 寒冷地では材線虫病の進行が遅い  
： 不斉な衰弱・枯死の発生(年越し枯れ、未変色感染木、...)
- カミキリは産卵時期に都合よく衰弱した木だけに産卵

西南日本

寒冷地

→被害木発生パターンの定量的把握(いつ、どれくらい)?  
→針葉変色時期とカミキリ生息の関係(要防除木はどれ)?



寒冷地で空中探査が特に有望な理由

松くい虫被害地としての寒冷地の特徴

- ▶ 寒さのためマツノサイセンチュウ/マツノマダラカミキリの活動が抑制される
- ▶ 被害履歴が浅い

◆ 最前線：広大なマツ林に散在する少数の被害木  
✓ 広域をカバーする空中探査が有利  
✓ 侵入初期の少数の要防除木を駆除することで最大の効果  
→ 全量駆除

◆ 後背地：要防除木(＝マツノマダラカミキリの生息する被害木)は被害木の一部に過ぎない  
✓ 針葉変色時期による被害木の選択的処理による効率的、省力的な防除が可能に  
✓ 撮影時期の最適化で効率的な要防除木検出へ  
→ サブ全量駆除(微害維持)＝秋田方式

## 航空写真とGISを活用した高精度位置情報の紹介

独) 森林総合研究所東北支所  
研究調整監 中北 理

### 1 航空写真の現状と問題点

航空機から撮影された写真を林業分野では空中写真と表現しています。

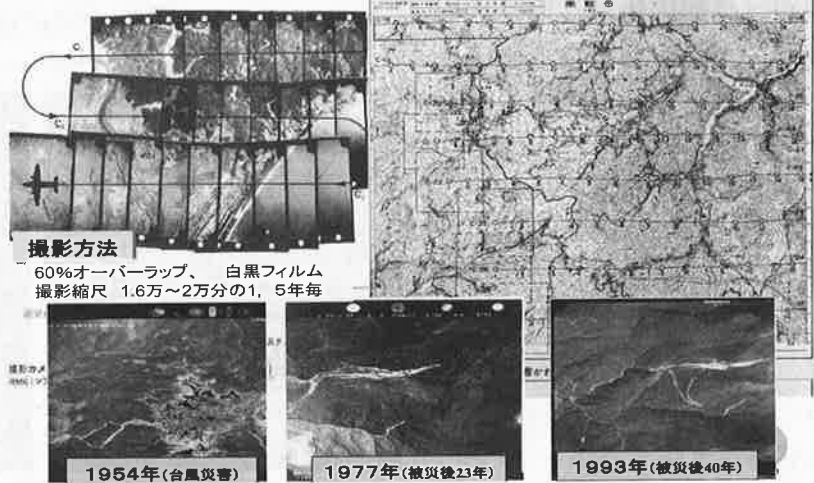
日本全土の空中写真が最初に撮影されたのは、第二次世界大戦後に米軍によってです。その後、平地は国土地理院、山地は林野庁に分けられ定期的に撮影をし、森林計画図の図面作成や更新に使用されてきています。

写真は現場の状況を客観的に把握する最高の手段ですが、そこから情報を抽出するには、特別な機器類や専門知識が必要でした。しかし、広域情報を正確に把握する手段としては他に類無いものであることが最近認められるようになっていきます。

### 2 空中写真技術の大きな技術革新

空中写真技術は1980年代にほぼ完成された技術です(図-1)。しかし、1990年代にデジタル画像処理技術が進み、2000年にはGPSが登場しました。空中写真の撮影においても、①撮影する航空機へのGPS/IMU(慣性計測ユニット)の搭載、②GPSと連動する航測カメラの開発、③国土地理院の電子基準点の整備(2002年完了)などにより、従来必要とされた位置標定のための野外測量を行わなくても空中写真の前処理作業が行えるようになるなど飛躍的な技術変革が起きたのです(図-2)。

#### 日本の空中写真システム



**最新の空中写真技術**

**GPS/IMU(慣性計測ユニット)**  
飛行位置・3軸傾き計測システム  
GPSによる飛行とカメラと連動した自動撮影が可能となる

**電子基準点(GPS連続観測網)**  
国土地理院  
約20km四方に全国1300カ所に整備(2002年)、HP上でGPS補正情報が得られる。位置の精度の飛躍的向上

**デジタル画像処理**  
飛行計画、標定図、DSM、オルソ、モザイク  
集成等がパソコンで処理可能となった。

従来の航測技術から野外作業が不要となり  
最新の機械、光学、電子、解析技術が  
統合化、システム化され、  
最高の位置精度を持つ唯一の客観的情報

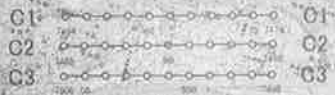
図2

### 3 研究の取り組みと成果

広域を均一な位置精度で分布状態を把握し、効率よく作業を実施するために、次のような方法を提案しました。要防除木を発見するのに最適な時期に上空から航空写真を撮影します(図-3)。

時期を決めるために、樹冠の変色状態や枯損変化を綿密に観測します。撮影後は最新の処理技術で精密なオルソ画像(地形図にぴったり合う)を作成します。これにより1本1本の樹木が手に取るように把握でき、しかもその位置がほぼ40cmの誤差で計測できます。この画像を判読しますが、この部分は人間の目の持つ高度な識別能力が大いに発揮されます(図-4)。これらの画像情報や判読データは、インターネットを通して即座に研究仲間に伝えられます。これにより、どこに、どれだけの要防除木があるかが求められます(図-5)。この方法を用いればこれまでの予備調査も不要となり、画像から得られた情報をもとにすぐに作業見積りも可能になるでしょう。

最新の空中写真技術



撮影された写真標定図

C1, C2, C3は飛行コース  
○は撮影地点



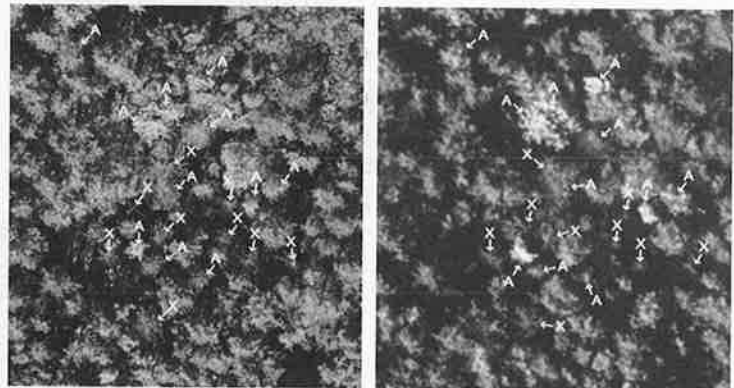
3飛行コース、合計33枚のオルソ画像をモザイクした集成画像

FFPR  
NAKAPRO

図3

#### 要防除木抽出のための最適撮影条件の把握

※要防除木=マツノマダラカミキリの生息する枯死木



空中写真による枯損木の判読・抽出(秋田市夕日松原海岸クロマツ林)

左: ナチュラルカラー写真

右: 赤外線カラー写真

図4

FFPR  
NAKAPRO

#### 鳥(俯)瞰図にすると、より良く分布状態が把握できます



図5



さらに、ここで得られた情報を最大限に活かすために、下記の2つの活用法に関する技術も開発しました。

1つは、現場で作業する人が、林内で迷うことなくすみやかに樹木に辿り着ける「林内誘導ナビゲーションシステム」です(図-6)。これは、高精細オルソ画像と樹木の位置データを表示し、内蔵されたGPS機能により位置関係を求めます。また、単に誘導だけではなく、現場作業での単木ごとの情報記録の入力、編集も可能ですので、大幅な現場作業の効率化につながります。

さらに、この高精細オルソ画像で得た微地形データや樹木の位置データを自律航行型の無人ヘリコプターのシステムに入

れることで、無人ヘリが自動的に飛行をして対象樹木を次々に飛び渡ることもできます。実用化にむけた飛行安全性、的確性、効率性についての飛行実験を行いました(図-7)。広い範囲を自動的に単木管理できるため、山地では大変に助かります。

#### 4 今後の方針と課題

「精密オルソ画像」を作成することは、管理する人にとっても、現場で作業する人にとってもすべての面で強力な情報源です。日本でこそ発揮できる最新技術を活用した省力化、高効率な防除法は、松枯れ以外にも活用できます。様々な実利用にむけてさらに進めていきたいと取り組んでいきたいと思っています。

広域を均一精度で、客観的に把握できる空中写真がもたらす利点ははかりしれません。近年は人工衛星画像に取って代わられようとしています、必要とする時期に画

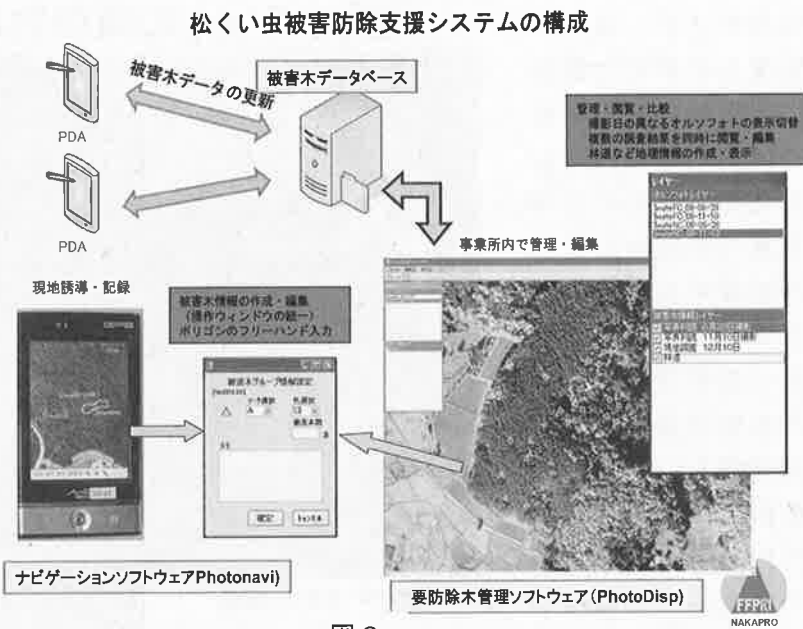


図 6



図 7

像が得られないのは致命的です。また、正確さを求めた場合に、傾斜のある山地では斜め画像は適しません。改めて空中写真のすばらしさを再認識する必要があります。また、これまで長年使用してきた基盤情報としての地形図も、今後の高精細、高位置情報の時代を考えると、その等高線の信頼性が問題になってくると思われます(図-8)。

## 精密オルソ上の既存地形図(2万5千分の1)情報



図 8

このプロジェクトでは最新の空中写真技術を実利用に活かし、大いなる効率化と効果が期待できることを示しました。この技術は他の分野にも十分応用できると思います。