

が ぞ う に ん し き か つ よ う ど う ろ と う ぼ く し ん だ ん 画像認識AIを活用した道路倒木リスク診断

大澤 徳真¹・久米 啓介²

¹近畿地方整備局 奈良国道事務所 管理第二課 (〒630-8115 奈良県奈良市大宮町3-5-11)

²修成建設コンサルタント 道路交通グループ (〒530-0055 大阪市北区野崎町7番8号 梅田パークビル)

近年、名阪国道では倒木による通行止めが相次いでおり、効率的な樹木管理計画の策定が喫緊の課題となっている。しかし、名阪国道は山地を通過する自動車専用道路であり、目視による枯れ木調査には危険を伴ううえ、多くの時間と労力を要する。そこで、作業者の安全を確保しながら効率的に調査を行うため、「ドローン空撮」と「画像認識 AI による枯れ木自動検知」を活用した新たな枯れ木調査を実施した。さらに、調査結果に地形・地質、道路線形などの条件を組み合わせる「道路倒木リスク診断」を行った。本稿では、これらの調査手法と診断結果、および道路維持管理計画への反映に向けた取り組みについて報告する。

キーワード 枯れ木調査, ドローン空撮, 画像認識AI, 道路倒木リスク診断

1 背景

近年、豪雨や台風などの自然災害が頻発しており、供用年数を重ねた道路沿線では、倒木による事故や通行障害の発生が顕在化している。

奈良国道事務所が管轄する名阪国道（針 IC～天理東 IC 間）では、「Ωカーブ」に代表される急カーブや急勾配区間が連続する自動車専用道路であり、これまで各種の交通安全対策により事故削減が図られてきた。

一方で、近年は道路区域内への倒木が増加傾向にあり、新たな道路維持管理上の課題となっている。

このため、奈良国道事務所では、倒木の危険性を有する枯れ木の本数および分布を早期に把握するため、枯れ木調査を実施することとした。さらに、調査結果に基づき、道路への影響を踏まえた倒木リスクを診断し、具体的な伐採計画を策定するとともに、次年度以降の計画的な伐採事業へ反映させる方針とした。

2 技術的な課題

伐採事業を具体化するに当たり、本調査では主な技術的課題を以下の三点に整理した。

(1) 効率的な枯れ木調査の実施

対象区間は延長約 12.6km で、急峻な山地を通過する区間である（図-1）。この区間で、従来の専門技術者による目視点検により枯れ木調査を行う場合、多くの調査

期間を要し、迅速な対策事業の立案・実施に支障を来すおそれがある。また、名阪国道には側道がない区間もあり、山地を移動しながら直接目視で踏査する必要があるため、作業上の危険性も高い。



図-1 対象区間（名阪国道 針 IC～天理東 IC）

(2) 道路倒木リスク診断手法の確立

既存の道路倒木リスク評価手法は、街路樹など、比較的少数で平坦部にある樹木を対象としたものが多い。

一方、名阪国道の沿線は、急勾配の斜面や法面、沢地形に面している。そのため、道路に到達する倒木には、斜面や法面を滑落してくるものも含まれる。反対に、本線下部の法面に生育する樹木は、倒木しても本線に到達する可能性が低い場合がある。

また、対象区間には、街路樹のように整備された土壌で管理されている樹木ではなく、崩壊地形や崖錐堆積物など、不安定な地形・地質条件下に生育する樹木が多く存在する。これらの樹木は生育不良となりやすく、倒木に至るおそれが高いと考えられる（図-2）。

このように、急勾配斜面や法面に面する自動車専用道路という名阪国道特有の条件を踏まえて、道路倒木リスクを診断することが、適切な事業計画を策定する上で重要となる。



図-2 名阪国道で見られる危険木

(3) 調査・リスク診断を踏まえた伐採計画の策定

名阪国道は5万台/日を超える交通量があり、通行規制を伴う作業は容易ではない。

そのため、伐採事業は、他の維持管理工事との調整を図りながら、計画的に進める必要がある。

具体的には、倒木リスクに応じて区間の優先度を設定し、年度ごとの伐採区間を整理するなど、実施可能な事業計画をあらかじめ策定しておくことが重要である。

3 ドローンとAIを活用した枯れ木調査

これらの課題に対応するため、本調査では「ドローン空撮」と「画像認識 AI による枯れ木自動検知」を組み合わせた新たな枯れ木調査を実施した。

(1) 調査概要

本調査では、枯れ木画像を教師データとして学習した画像認識 AI に、ドローンで撮影した空撮画像を解析させ、画像上から枯れ木を抽出する「枯れ木検知 AI サービス」（技術提供：九電ドローンサービス株式会社、株式会社オプティム）を使用した。

調査技術の概念図を図-3に示す。

本技術は、オルソ画像（地形やカメラの傾きによる幾何学的な歪みを補正し、地図と同じ位置関係で利用できる画像）を用いる。

一般的な空中写真測量で作成される RGB オルソ画像（Red, Green, Blue の3バンドから作成したオルソ画像）による枯れ木検出に加え、NDVI オルソ画像（Red および NIR バンドから作成したオルソ画像）からも枯れ木を検出する点に特徴がある。

NDVI オルソ画像は、マルチスペクトラルカメラで取得した Red（赤色）バンドおよび NIR（近赤外）バンド

の反射率から各画素の正規化植生指数（NDVI）を算出し、その値をオルソ画像として可視化したものである。

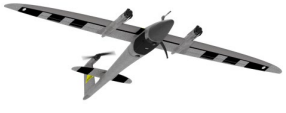
NDVI は植生の反射特性に基づき、植生の健全度や衰弱傾向を推定するための指標であり、RGB オルソ画像では判別が難しい健全木と枯れ始めの樹木の識別が期待できる。



図-3 画像認識 AI を用いた枯れ木調査の概念図

本手法により、現地踏査や樹木の健全度判定に要する人的負担を大幅に軽減でき、調査の効率化と安全性の向上が期待できる。本調査の概要を表-1に示す。

表-1 枯れ木調査概要

項目	内容
調査区間	名阪国道 針IC～天理東IC 上下線 (約12.6km)
調査範囲	約 1.26 km ² (道路端部から50m×2, 延長は上記)
ドローン飛行期間	2025/10/13-23 ※うち 作業日5日(雨天等は中止)
使用機器	VTOL固定翼(直線区間で使用)  長距離航行が可能で作業効率が高い。急カーブが苦手なため、直線区間で使用。 マルチコプター回転翼(カーブ、起伏が多い区間)  ホバリング時でも安定した航行が可能。カーブや地形の起伏が激しい区間で使用。

(2) ドローン空撮による画像取得

枯れ木検知 AI の解析精度を確保するには、撮影位置の正確性と取得画像の品質が重要である。

本調査では、九電ドローンサービス株式会社が有する特許技術を用いた自動操縦システムにより、ドローンを地形に追従させながら、操縦者が視認できる安全で確実な範囲内を飛行させた(図-4)。これにより、写真画像の地上解像度を一定に保ち、適切に重複させた飛行ルートを設定して、高品質な解析用画像を取得した。

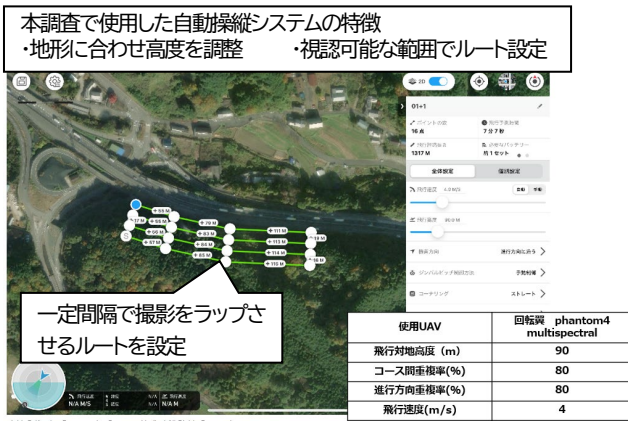


図4 ドローン自動操縦システムの概要

(3) 画像認識 AI による枯れ木検出手法

枯れ木検出 AI による画像解析は、前述のとおり「RGB オルソ画像」と「NDVI オルソ画像」の 2 種類を用いて実施した。

RGB オルソ画像解析は、一般的な RGB 画像を教師データに基づいて解析し、枯れ木または倒木と考えられる箇所を抽出するものである（図-5）。

これは、専門技術者が空中写真を目視して枯死木を判読する作業を AI に代替させるものであり、葉の色調、枝や幹の露出状況などを手掛かりに枯れ木を検出する。

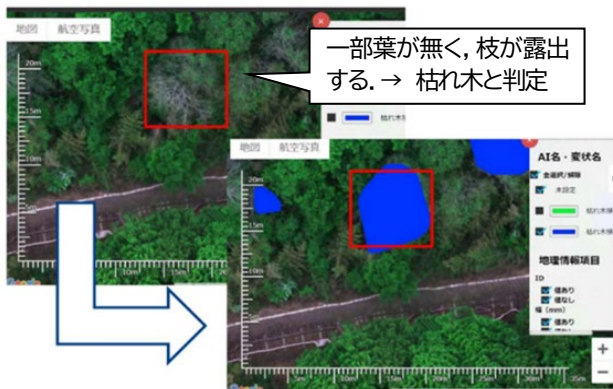


図-5 AI による RGB オルソ画像解析結果例

NDVI 画像とは、マルチスペクトルカメラで取得した Red (赤色) バンドおよび NIR (近赤外) バンドの反射率から、各画素の正規化植生指数 (NDVI) を算出し、その値を画像として可視化したものである（図-6）。

NDVI は植生の反射特性に基づき、植生の活性度や健全度を評価する指標であり、通常の色画像だけでは把握しにくい植生の健全度を推定することができる。

このため、NDVI オルソ画像は、専門技術者が近接目視や触診により判断していた樹木の健全度を、画像上で推定するための有効な情報となる。RGB オルソ画像と併用することで、枯れ木検出 AI による解析精度の向上が期待できる（図-7）。

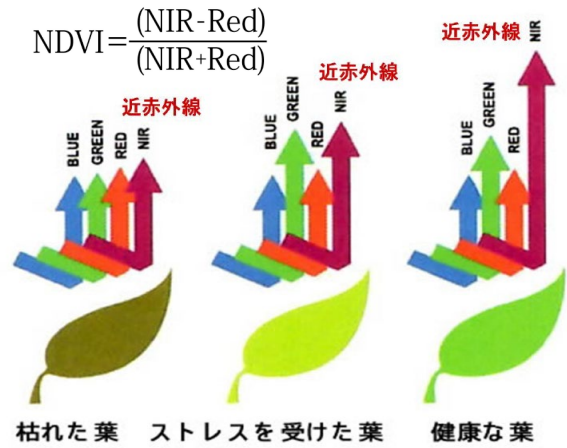


図-6 NDVI (正規化植生指数) の概念

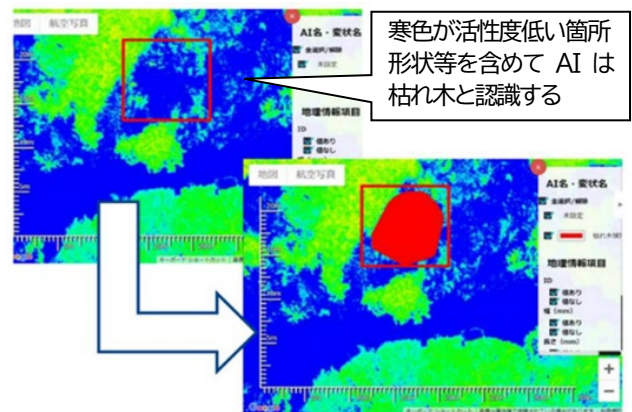


図-7 NDVI オルソ画像解析結果例

これらの AI により抽出された枯れ木箇所は、ドローン空撮画像に基づくため位置情報を有している。そのため、従来の近接目視点検で課題となりやすい「枯れ木位置の曖昧さ」を低減できる。

一方で、AI 解析では構造物等を枯れ木と誤認する可能性がある。このため、RGB オルソ画像および NDVI オルソ画像による検出結果については、人の目による確認を行い、最終的な抽出箇所を精査した。

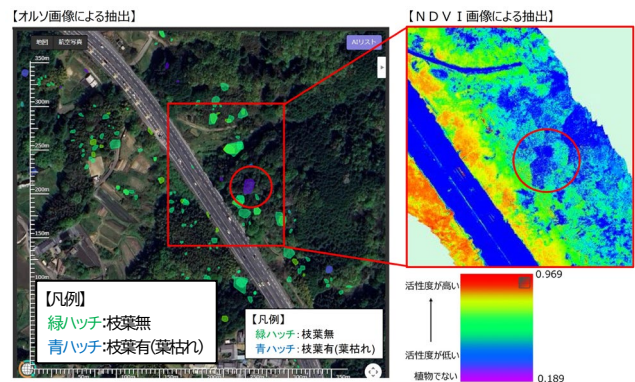


図-8 名阪国道における枯れ木検出 AI 抽出結果一部抜粋

(4) 調査結果

「画像認識 AI による枯れ木自動検知」を用いた調査の結果、対象区間（針 IC～天理東 IC、約 12.6km）において、枯れ木の可能性がある箇所は上下線合計で 1,596 箇所検知された。

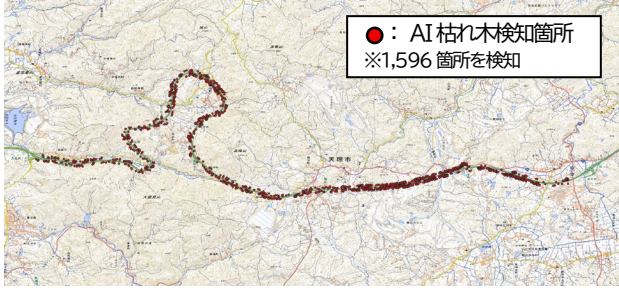


図-9 枯れ木検知 AI による抽出箇所分布状況

なお、枯れ木検知 AI では、道路両端からそれぞれ約 50m を調査範囲として解析を行った。そのため、抽出箇所には、倒木しても道路本線へ到達する可能性が低い樹木も含まれる。そこで、道路事業として優先的に対処すべき区間や本数を絞り込むため、枯れ木分布数、名阪国道の自然条件、道路構造を踏まえた「道路倒木リスク診断」を新たに検討し、実施した。

4 道路倒木リスク診断

道路倒木リスク診断では、道路本線への影響を考慮し、道路事業として優先的に対応すべき枯れ木および区間を抽出することを目的とした。

具体的には、道路への到達可能性を踏まえて「枯れ木対象範囲」を設定し、検知された枯れ木のうち、道路防災上の管理対象となるものを絞り込んだ。

その上で、地形・地質などの自然条件や、落石防護柵などの既存道路施設による防護効果を考慮し、区間ごとの倒木リスクを評価した。

(1) 枯れ木対象範囲の設定

道路周辺に分布する枯れ木のすべてが、道路本線に影響を及ぼすわけではない。平坦地では、樹高以上に道路から離れた樹木は、倒木しても道路に到達する可能性が低い。一方、斜面・法面では、倒木後に斜面を滑落し、道路本線へ到達する可能性がある。

そこで、本検討では、樹高、尾根・谷地形および道路用地境界を踏まえ、道路横断方向における「枯れ木対象範囲」を設定した。これにより、道路事業としての対象を 1596 箇所から 1080 箇所に絞り込んだ（図-10）。

また、対象範囲内であっても、道路端部に近い樹木ほど倒木時の影響が大きく、早期対応の必要性が高いと考えられる。そこで、枯れ木対象範囲を道路からの位置関係で「短期」、「中期」、「長期」に区分した。

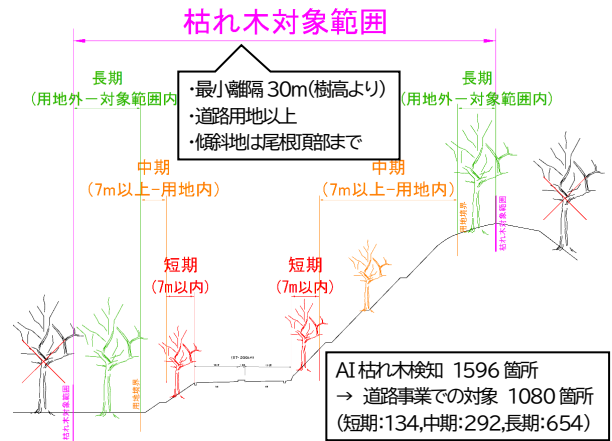


図-10 枯れ木対象範囲の設定内容

(2) 倒木リスク評価

倒木リスク評価では、倒木の発生しやすさと、倒木後の道路影響を分けて整理した。

前者は、地形、地質および土砂災害リスク箇所等の自然条件を踏まえた「倒木発生度」とし、後者は、落石防護柵等の既存施設の有無による防護効果を考慮した「倒木危険度」とした。

これら二つを組み合わせた二軸マトリクスに整理し、リスクレベルを3段階に評価した（表-2）。

倒木リスク評価は、対象区間 12.6km を土工区分（切土、盛土、自然斜面）毎に実施した（図-11）。この評価結果と枯れ木検知 AI 解析結果を重ね合わせることで、例えば「倒木リスク 高」と判定された土工区間に AI 枯れ木検知箇所が多数分布する場合には、当該区間を優先的に伐採すべき箇所として抽出できる。

表-2 倒木リスク評価マトリクス と 評価指標の一例

リスク評価マトリクス		倒木危険度		
		A(危険度大)	B(危険度中)	C(危険度小)
倒木発生度	a(確率大)	Aa	Ba	Ca
	b(確率中)	Ab	Bb	Cb
	確率小	Ac	Bc	Cc

■ : 倒木リスク 高 ■ : 倒木リスク 中
■ : 倒木リスク 低

①倒木発生度(地形、地質、二次災害を指標 ※下記は地質)

項目	詳細	配点	判定理由
地質状況	岩盤(風化岩)	3	岩盤は根の侵入が困難であり、保水性土壌の層厚が薄いため、生育環境が良好でない
	盛土	2	道路盛土の植生工は、草本導入を基本としており、保水性や透水性を考慮した十分な基盤が確保されていない。
	崖壁	2	土壌水分が多い土壌は土壌の支持力が弱く、根返りが発生しやすい環境である
	洪積層	1	主に礫質土が分布し、適度な透水性と保水性を持つ土壌となり、生育環境が良い
	強風化帯・マサ土	0	名阪国道周辺は花崗岩が分布し、表層には細粒化したマサ土となる。透水性と保水性を良い土壌となる

②倒木危険度(既存施設を指標)

項目	詳細	配点	判定理由
既存施設	路側施設なし	3	倒木発生時に被害軽減が可能となる既存施設無し
	遮音壁、フェンス	2	倒木発生時に衝撃力は考慮できないものの、一時的な防除可能な施設有り
	落石防護柵、防護網、橋梁	1	直接落下およびズレ押し等による倒木を防除可能な施設有り。橋梁部は本線に到達しない。

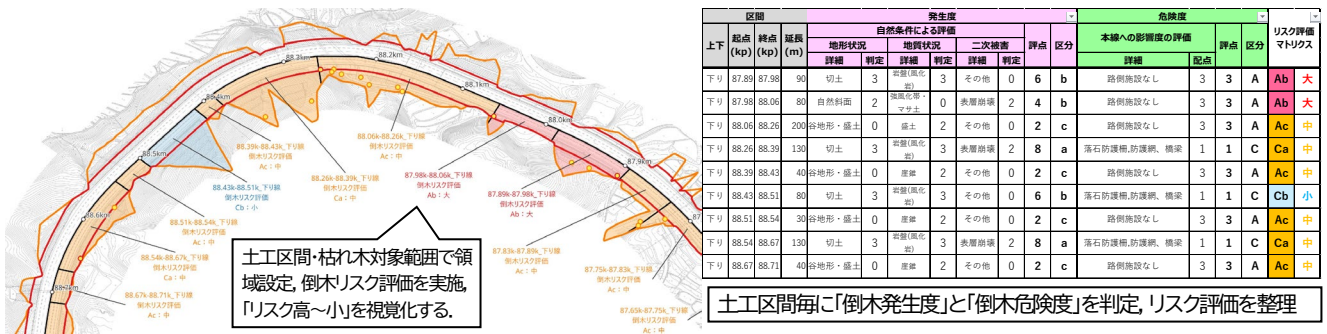


図-11 倒木リスク評価 実施例

(3) 区間優先度の設定

対象となる枯れ木は 1,080 箇所及び、対象区間全体に広く分布している。このため、名阪国道における伐採事業では、工事区間と通行規制期間を計画的に設定し、長期的な視点に基づき段階的に事業を進める必要がある。

そこで、本検討では、名阪国道における伐採対象区間の優先度を定量的に設定するため、「樹木指標」と「道路指標」の2つの評価軸を設定した(図-12)。

「樹木指標」は、枯れ木検知 AI 解析での分布密度(箇所/km)および前述した倒木リスク評価の結果を相対的に評点化し、樹木側の危険度を示す指標とした。

一方、「道路指標」は、倒木が発生した場合に、運転者による回避が困難となり、事故や交通規制につながる可能性を示す指標である。本検討では、縦断勾配およびカーブ半径を採用し、視認性や制動性に影響する道路構造条件を評点化した。

表-3 区間優先度マトリクス と 評価指標の一例

優先度区分	樹木指標による危険度		
	×	△	○
道路危険度による	高	××	△×
	中	×△	△△
	低	×○	△○

■ : 優先度 高 ■ : 優先度 中
■ : 優先度 低

樹木指標(枯れ木分布密度、倒木リスク評価 ※下記はリスク評価評点)

項目	詳細	配点	判定理由
倒木リスク評価	倒木リスク評価で「高リスク_Aa,Ab,Ba」と評価された領域の占める割合	5	高リスク30%以上
		4	高リスク25%以上-30%以下
		3	高リスク20%以上-25%以下
		2	高リスク15%以上-20%以下
		1	高リスク10%以上-15%以下
		0	高リスク10%以下

道路指標(縦断勾配、カーブ半径 ※下記は縦断勾配の評点)

項目	詳細	配点	判定理由
縦断勾配	区間における最大縦断勾配。下り勾配が危険と判断。	5	5%以上の下り勾配
		4	4-5%の下り勾配
		3	3-4%の下り勾配
		2	2-3%の下り勾配
		1	2%未満の下り勾配
		0	上り勾配or平坦

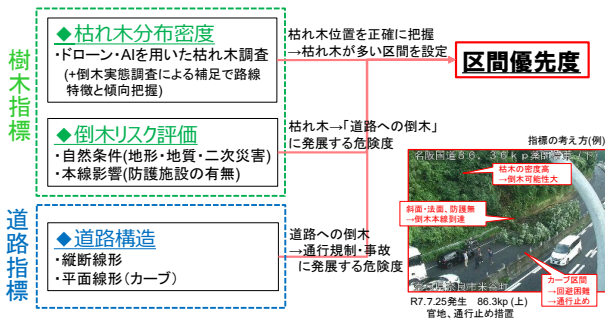


図-12 区間優先度の設定 概要図

本検討では、倒木危険度を構成する「樹木指標」と「道路指標」を二軸マトリクス(表-3)として整理し、区間ごとの優先度を明確化した。

これにより、枯れ木分布数の多少のみで判断するのではなく、倒木の発生しやすさや、倒木が車両事故・交通規制につながる可能性など、道路維持管理への影響を定量化した上で、伐採対象区間の優先度に反映させることが可能となった。

図-13に「短期」(道路端部から7m以内)における区間優先度の設定結果を示す。なお、工事における通行規制は IC 間で実施するため、対象区間を IC・上下線で 10 区間に区分した。

区間優先度設定の結果、名阪国道で事故リスクの高い「Ωカーブ」が伐採事業の優先度が高い区間となる。

(4) 道路倒木リスク診断 まとめ

倒木リスク評価に基づき区間優先度を設定する「道路倒木リスク診断」を実施し、枯れ木検知 AI 解析と組み合わせることで、検討開始から約4ヶ月という短期間で、危険度の高い区間を定量的に選定することができた。

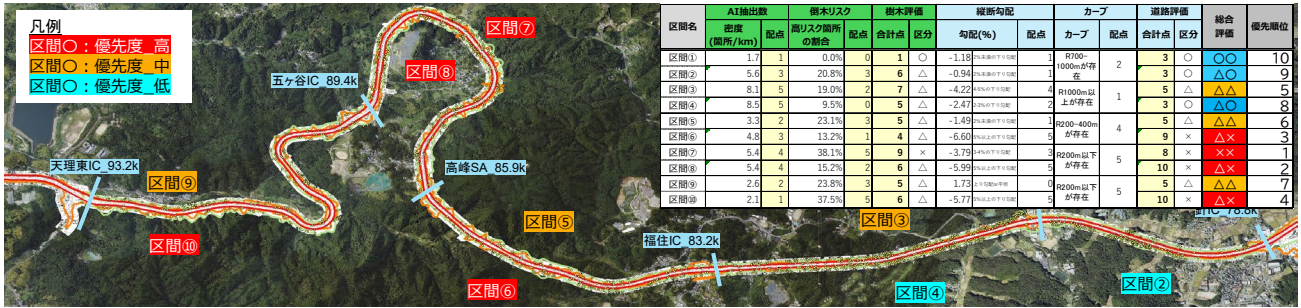


図-13 区間優先度(短期)

5 名阪国道における伐採事業計画(案)

道路倒木リスク診断により、伐採対象区間の優先度を設定するとともに、伐採が必要となる枯れ木箇所数を推定した。本章では、これらの診断結果に基づき、名阪国道における具体的な伐採事業計画(案)を設定した。

伐採事業を計画的に実施するためには、単年度で対応可能な作業量および事業費を把握し、年度ごとの事業量に大きな偏りが生じないように調整する必要がある。そこで、本検討では、単年度に想定する事業規模(表-4)を設定し、区間優先度を踏まえて10区間における事業量の平準化を行った(図-14)。

これにより、倒木リスクの高い区間を優先的に対策しつつ、計画的な伐採事業の実施方針を整理した。

表-4 名阪国道における枯れ木伐採に係る日数・費用

項目	内容	備考
伐採作業効率	2箇所/日	1箇所当たり2本伐採を想定
伐採費用	50万円/箇所	工事実績より推定
年度事業規模	100箇所	単年度予算5,000万と想定

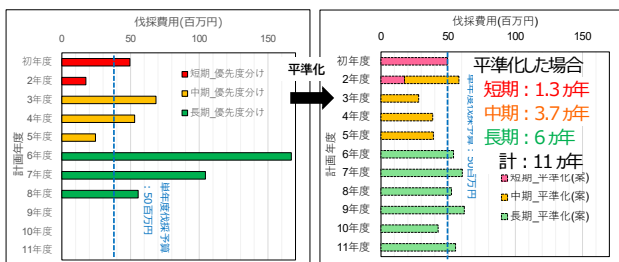


図-14 伐採事業 ヒストグラム

6 まとめ

(1)新技術「枯れ木検知 AI」の活用成果

ドローン空撮と枯れ木検知 AI を併用した調査により、従来手法と比較して、現場作業の効率は約 10 倍、結果整理の効率は約 2 倍に向上した(表-5)。

名阪国道を対象とした本調査では、調査期間を約 90%短縮し、費用についても約 30%削減した。

以上より、本手法は、調査期間および費用の両面において有効な枯れ木調査手法であることが示された。

表-5 枯れ木検知AIの活用効果

調査内容	準備期間	現場作業	結果整理	直人費 ※名阪国道の場合
従来調査 (近接目視)	約1週間	約0.025km ² /日 ※2人/日	約15箇所/日 ※1人/日	40万円/km
枯れ木検知AI (ドローン空撮併用)	2-3週間	約0.290km ² /日 ※2人/日 効率 約10倍	約30箇所/日 ※1人/日 効率 約2倍	27万円/km 23%に減少

(2)「枯れ木検知 AI」 今後の課題

今後の課題として、従来調査と比較した危険木検知率が約 70%にとどまる点が挙げられる。その主な要因は、生木における幹の異常、空中写真に写りにくい低木の未検知、落葉期で紅葉の誤検知がある。その改善策は、新緑期に撮影し紅葉の誤検知回避と低木を検知しやすい画像の取得、教師データ蓄積で検知精度向上が挙げられる。

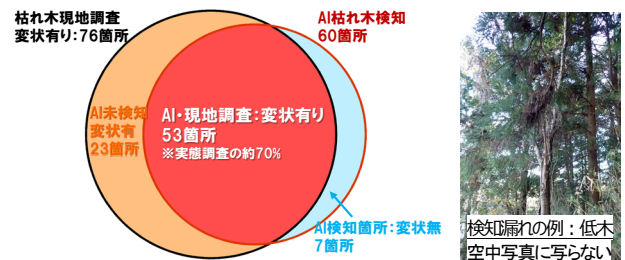


図-15 従来調査での変状箇所と AI 検知箇所の比較

(3) 今後に向けた取り組み

今後、伐採事業を効率的に進めるには、枯れ木の位置情報、区間優先度および伐採状況を一元管理し、随時更新できる仕組みが重要である。そこで、本調査・診断結果を GIS や CIM に格納し、伐採事業の進捗管理と道路維持管理に活用可能な管理基盤を整理した(図-16)。

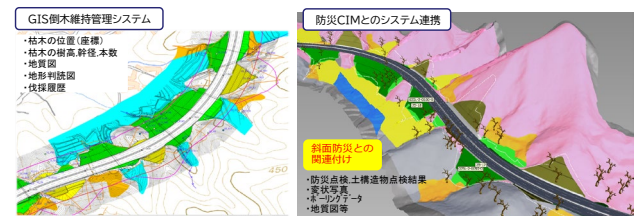


図-16 道路倒木リスク診断結果を格納した GIS・CIM の作成

枯れ木調査に関する新たな手法を実践し、具体的な事業計画を短期間で策定した。今後は、伐採事業の円滑な推進を図るとともに、倒木災害対策の先事例としてデータの蓄積を図り、手法の体系化を進める。