

[自動運転元年]

2 高精度 3 次元地図 —安全・安心な交通環境を実現する デジタルインフラ基盤—



麻生紀子 ダイナミックマップ基盤 (株)

2000 年代初頭より乗用車、物流車両、建機等、あらゆる移動体における自動運転にかかわる研究開発が推進され、実用化が始まっている。この自動運転 (AD : Autonomous Driving) や先進運転支援システム (ADAS : Advanced Driver-Assistance Systems) の実現に必要なとされるキーテクノロジーの 1 つが「高精度 3 次元地図」である。

高精度 3 次元地図は、国内においては日産自動車 (株) が「スカイライン」に搭載する ADAS システム「ProPILOT 2.0」、本田技研工業 (株) が「レジェンド」に搭載する世界で初めて実用化した「自動運転レベル 3」システム「Honda SENSING Elite」、さらに、トヨタ自動車 (株) が「Lexus LS」と燃料電池車「MIRAI」に搭載する「Advanced Drive」等で採用されている。これらの車種では高精度 3 次元地図が搭載されており、高速道路における安全・安心な

ドライビングの実現に重要な役割を果たしている。

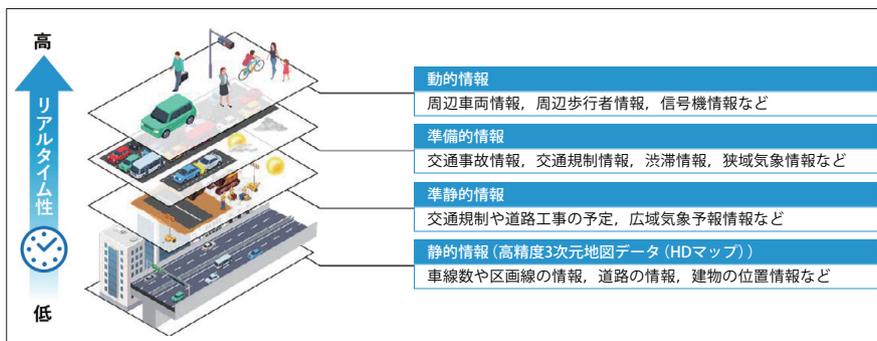
今後は搭載車種が拡大していくとともにこのシステムが稼働可能なエリアが高速道路から一般道路へと拡大していく見込みである。

本稿では、自動運転における高精度 3 次元地図 (High-Definition Map) の役割と整備方法、今後の展望について紹介する。

自動運転における地図情報の役割

ダイナミックマップと高精度 3 次元地図

自動運転システムの実現に必要なとされる地図データモデルに関して、動的・静的な情報を統合する「ダイナミックマップ」という概念がある (図-1)。これは、道路空間上でさまざまな時間間隔で変化するあらゆる事象を高精度 3 次元地図と紐づけて構成するデジタル地図のモデルである。一般的に動的情報 (歩行者や信号情報等)、準動的情報 (事故情報や交通規制情報等)、準静的情報 (道路工事や交通規制予定情報)、静的情報 (路面情報、車線情報や 3 次元構造物等) の 4 つのレイヤ (階層) で構成され、それらの位置情報を基準に



■図-1 「ダイナミックマップ」の概念

特集
Special Feature

紐づけて構築，利用するための概念である．高精度3次元地図はこの4レイヤの中で主に静的情報の役割を担う．現在研究開発が進む上位3レイヤの情報連携の実現においては，各レイヤに対する位置のリファレンスとなる役割を担うことが期待される．

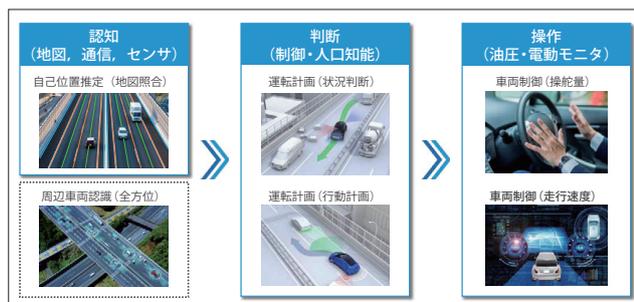
車両に搭載されるデジタル地図図として，カーナビゲーション用地図が広く普及しているが，その主たる目的は人間に対する2次元表示であり，道路単位の情報や施設関連情報を保有し車線単位の詳細情報は含まない．また位置精度はおおむねメートル単位である．一方，高精度3次元地図は車両の運転制御のための地図データであり，各データはX, Y, Zの3次元情報を有する．車線ごとの情報を保有しその精度はセンチメートル単位である．言い換えれば，カーナビ地図は人間が読む地図であるのに対し，高精度3次元地図を読むのは機械（車両）であり，車両の制御に必要となる高精度な3次元位置情報を保有した地図ということになる．

自動運転における高精度3次元地図の役割

車両の運転動作は「認知」→「判断」→「操作」の連続と言われ，自動運転システムで利用される高精度3次元地図は，自車位置推定，道路構造の先読み制御，センサ情報補完等に寄与する情報を提供し，走行の快適性や安全性を向上させている（図-2）．

自車位置推定のリファレンス

自動運転システム機能を備えた車両は，今どこを走行しているかを車線単位で正確に把握する必要



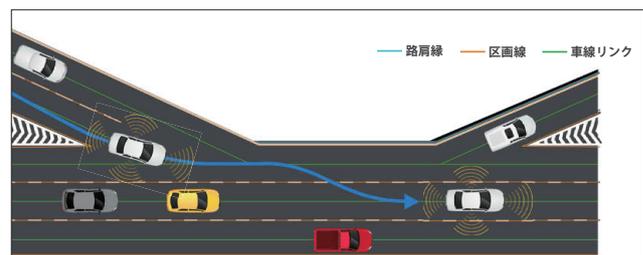
■図-2 車両運転にかかわる動作

がある（図-3）．そのために，車両は衛星測位端末，慣性計測装置，カメラセンサ，レーダセンサ等の各種センサを装備し，道路標識や路面標示等の走行に必要な道路情報（地物，Feature）を抽出し，車両制御に供している．抽出した地物をあらかじめ整備した高精度3次元地図に収録された地物と照合することで車両の位置を高精度で推定することが可能となる．

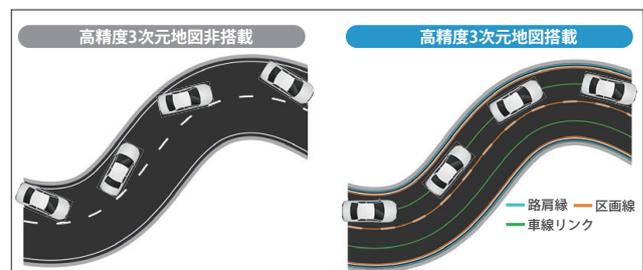
今後実装が期待されるレベル4以上の自動運転システムは人が介在しないシステムとなることより，車両が周辺環境を正確に把握するためのセンサの高性能化が求められるとともに，リファレンスとなる高精度3次元地図に対する要求精度も高まっていくと考えられる．

先読み情報の提供

日本の高速道路は国土形状により多くの曲線部から構成されている．高精度3次元地図を搭載しない場合，カメラ等で認識した車線の変化に合わせてステアリングを切り車両を制御するが，カーブ等曲率に変化するところでは，制御に遅れが生じステアリング制御がぎくしゃくしてしまうことがある（図-4）．高精度3次元地図が保有する車両搭載センサ覆域外の道路形状や勾配等の情報を先読み情報として利



■図-3 車線単位の自己位置推定



■図-4 道路の先読み情報

特集

Special Feature

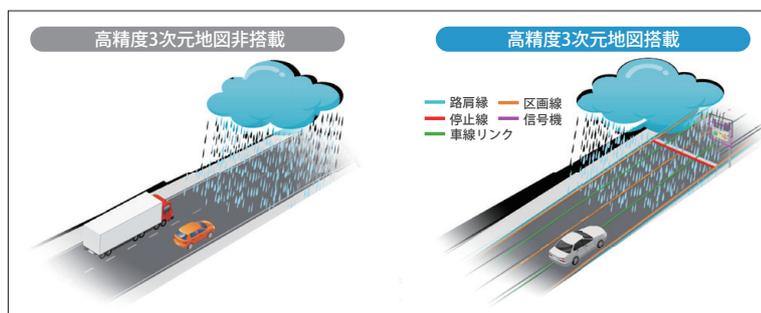
用することにより滑らかな走行が実現可能となる。また、分岐や右左折の複雑な道路では、早い段階から目的地に対応した車線変更を開始する等、ゆとりある安全、快適な走行を支援する。

センサ情報の補完

車両搭載センサは覆域に限界があるとともに、日照や降雨等の気象状況によりセンサ感度が低下することがある(図-5)。さらに、路面標示等は経年変化によりかすれが生じ、センサでの検出が困難となる場合がある。また衛星測位はトンネル内や高層ビルが林立するエリアでは衛星不可視となり位置推定ができない。高精度3次元地図は上記のような条件で内容が変化することはなく、他センサを補完する役割を担うことができ、自動運転を実現する一種のセンサと見なして「地図センサ」と呼ばれることがある。各センサを複合的に利用することで、より高度かつ安全な車両制御が可能となる。

高精度3次元地図の特徴

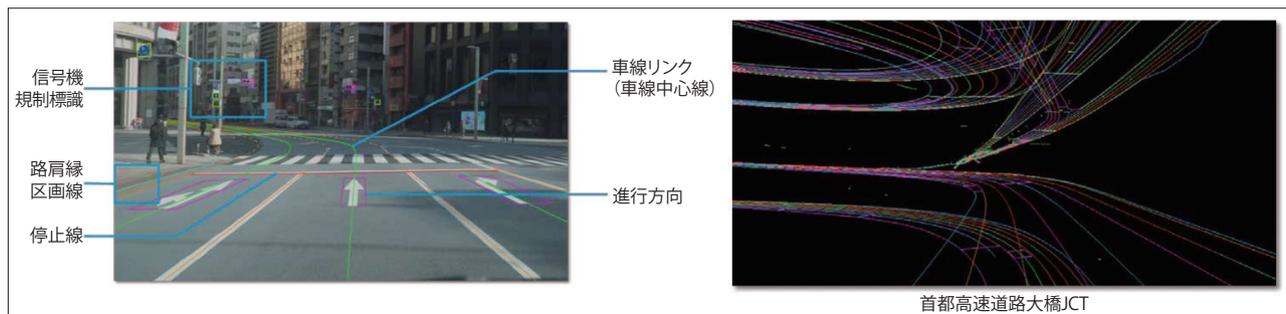
自動運転システムで利用される高精度3次元地



■図-5 センサ情報の補完

図は、MMS (Mobile Mapping System) という車両搭載型計測システムにより取得された3次元点群データ等を基に車両が利用しやすいデータに加工し提供される。地図に含まれる地物は、道路標識や区画線のような実際に目に見える形で存在する「実在地物」と、交差点等車線が切れている部分や車線が減少する部分でも車両が滑らかに走行できるように、実際の道路上には存在しない車線中心線等の「仮想地物」の2種類に大別される。加えて、連続して交差点がある道路で、手前の停止線とどの信号機が対応するのかという紐づけ情報等、カメラ画像のみでは取得困難な情報も含まれる(図-6)。

高速で走行する車両に搭載される高精度3次元地図には、「高い精度」、「品質」、「鮮度(最新性)」が要求される。たとえば、自動運転において、高精度の車両自己位置推定が求められることは前述したが、車線内を安全、安定して走行するためには、0.25m (RMS) 精度が必要とされる。これは、車線幅員3.5mの道路を車幅2.0mの車両が走行する場合、両脇に $(3.5\text{m}-2.0\text{m})/2=0.75\text{m}$ の幅があり、その3分の1となる0.25mの自己位置測位精度が確保できれば、車線内の安定走行のために3倍の余裕を持てる、との考え方に基づく要求値とされている。ただし、この前提は、各種センサ性能を含めた自動運転システム全体としての性能配分により決定されるものであり、今後の技術革新により精度要求値は変化していくことが想定される。



■図-6 高精度3次元地図の例

高精度 3 次元地図の整備工程

現在、量産車両向けに提供中の高精度 3 次元地図は、内閣府が推進する SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）等での研究開発成果や、各自動車会社や地図会社等との対話を基に、仕様の調整を図り製品化を実現している。以下に主要な整備工程を説明する（図-7）。

計測

3次元で cm 級の位置精度を有するデータの取得は、地球上の位置情報を取得するための「測量技術」によるものであり、データ収集に際しては、MMS を用いることが一般的である。整備に利用される MMS は、高精度かつ地物の高い再現性を確保するために、マルチ GNSS（Global Navigation Satellite System / 全球測位衛星システム）対応受信機、衛星不可視区間で比較的高精度を維持する高性能 IMU（Inertial Measurement Unit）、道路情報を精緻に再現する高密度レーザスキャナ（LiDAR）、高解像度カメラを搭載しており、各機器が衛星時刻情報で同期されることにより計測時の状態を正確に再現できる。MMS 車両を走行させながら、LiDAR で道路面および周辺情報をスキャンして点群データを取得することで、実際の道路とほぼ同一形状、サイズのデジタル空間上の道路データを表現できる。レーザ点群データについては GNSS 受信が良好な状態時には、絶対精度 10cm 以内、相対精度 1cm 以内

のデータ収集が可能である。

図化

MMS により取得した 3 次元レーザ点群を基に、自動運転に必要なさまざまな情報、たとえば区画線や道路標識、交差点領域等の地物を抽出してベクトル化することを図化と呼ぶ。図化はあらかじめ地物毎に定められた取得基準に基づき行われ、自動、手動の組合せで実施される。今後、自動運転システム（AD）に加え先進運転支援システム（ADAS）で利用されるためには、より長い距離の高精度 3 次元地図を低コスト、短期間で整備していくことが重要である。手動で実施する作業は IT の採用により順次自動化していくことで効率化を図っている。

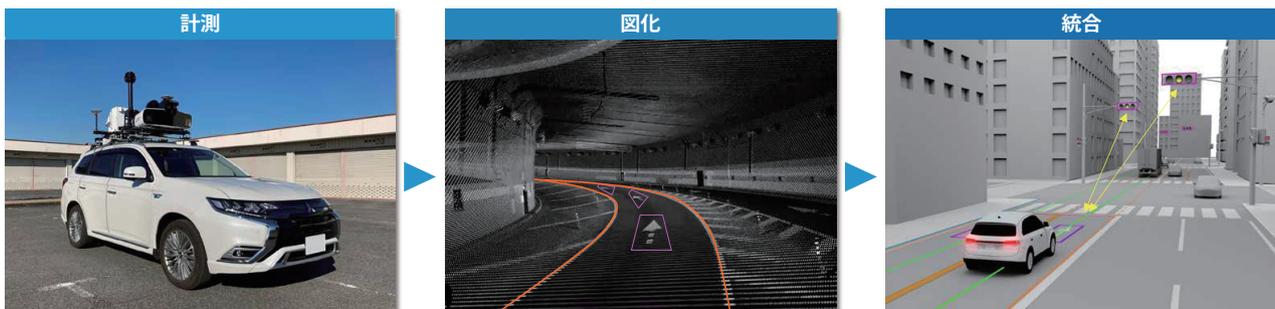
統合

図化工程で取得した各地物データを関連づけ（構造化処理）属性情報を付加、ユーザが利用しやすい形式に変換することで高精度 3 次元地図が完成する。

高精度 3 次元地図の整備状況と今後の展望

日本における高精度 3 次元地図の整備状況

2021 年 9 月現在、高速道路・自動車専用道路の上下線計で 3 万 1,910km が整備されており、道路変化に対する地図更新を進めている。さらに 2021 年度からは一般道路向け高精度 3 次元地図の整備を開始し、



■ 図-7 高精度 3 次元地図の主要整備工程

特集

Special Feature

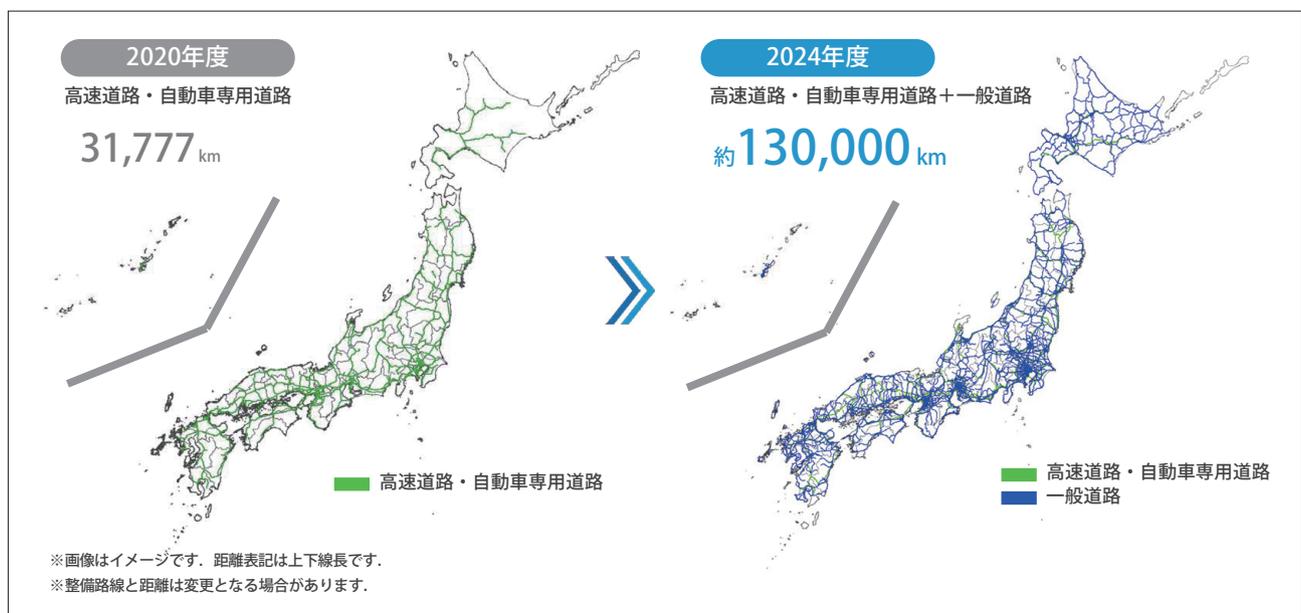
国道等主要道路を対象として 2023 年度に約 8 万 km、2024 年度には 13 万 km に拡大する計画（いずれも上下線計の総延長）であり、その後も順次対応路線を拡充する（図-8）。これにより高速道路・自動車専用道路に限られていた AD/ADAS システムの使用を一般道に拡大することが可能となり、さらなる自動運転・高度運転支援の普及に貢献できるものと考えられる。

高精度 3 次元地図整備にかかわる課題

高精度 3 次元地図は安全・快適な交通環境構築に貢献するが、整備にかかわるいくつかの課題もある。1 つは地図データ更新のリードタイムである。道路の状況は日々変化しており、この変化を捉え迅速に更新していくことが求められる。この過程で最も難しい点は、タイムリーな変化の把握である。工事発注情報等は道路管理会社や自治体において個々に管理されているが、これらの情報を収集し高精度 3 次元地図更新に必要な内容を抽出・利用するためには、システムや制度等仕組みの見直しも必要と考えられている。一方、技術開発の観点では、変化情報収集技術確立に向けたさまざまな取り組みが進められている。例として日常的に取得されるドラ

イブレコーダ画像等の車載センサで取得した情報から AI 技術や機械学習技術を用いて自動的に変化抽出することにより更新個所を素早く特定することが可能となる。リードタイム短縮については更新工程そのものを短縮することも重要であり、図化や検査の各作業プロセスの自動化を並行して進めることでトータルのリードタイム短縮を目指す。

もう 1 つの課題は低コスト化である。これまで高精度 3 次元地図はレベル 2+ 以上を対象とする先進運転支援システム（ADAS）や自動運転機能（AD）を搭載する高級車種への採用が主であったが、今後普及価格帯の車種に搭載されるレベル 1～2 のシステムに高精度 3 次元地図が採用されるためにはコスト低減が必須である。ダイナミックマップ基盤（株）が 2019 年に買収した米国の高精度 3 次元地図製作会社である USHR（アッシャー）社は、北米において約 32 万 km の高精度 3 次元地図を提供しており、このデータは米 General Motors の Cadillac シリーズの CT6 等で利用されている。USHR（アッシャー）社は、計測から地図データ作成までを自動化・効率化する各種ソフトウェアやノウハウを有しており、今後の国



■ 図-8 国内における高精度 3 次元地図の整備計画

特集 Special Feature

内の高精度3次元地図整備への活用を進めるとともに、グローバル展開に向けた整備プロセスや地図データ形式の統合を含め、トータルコストの低減を図る。

今後の展望

自動運転システム向けの高精度3次元地図は高精度3次元データを活用した1つのソリューションであり、本データはさまざまな分野への展開が期待される(図-9)。

自動運転関連では、乗用車以外への適用として、物流車両(ドローン等の空輸含む)や空港・工場等施設内の専用車両等を対象とした検討や実証実験が進められている。また、近年エネルギー制約や地球温暖化対策の観点から、道路の勾配等を考慮した運転支援システムにおいて高精度3次元地図が有効に機能することは欧米で実証されている¹⁾。今後普及が進み、かつ効率的な電力管理が求められる電気自動車やプラグインハイブリッド自動車においてはさらなる活用が期待される。

車両への搭載に加え車両開発の中でも活用される。AD/ADASシステム開発においては膨大な距離の走行試験やさまざまな状況を含むシナリオでの試験が

必要であり、車両走行シミュレーションは開発の効率化に不可欠と言われている。道路環境を精緻に再現可能な高精度3次元データはシミュレーション環境において利用が進みつつある。

モビリティ以外の分野においても、高精度3次元データの活用検討は進められている。1つは道路管理(除雪、除草等)や施設管理(地中埋設物等)である。国土交通省が公表した「国道(国管理)の維持管理等に関する検討会 中間とりまとめ(2020年5月)」における道路デジタルメンテナンス戦略においては、高精度3次元データがプラットフォームの1つとして位置付けられている。施設の老朽化、激甚化する災害への対応等、社会インフラ維持管理を取り巻く状況が厳しくなる中、関連する情報の基盤としての役割が期待される。

国の成長戦略としてデジタルトランスフォーメーション(DX)やグリーントランスフォーメーション(GX)が進められる中、その社会の実現に際しては、人とさまざまなモビリティが活動しインフラが運用される実空間(フィジカル)と、システムが認知・把握・制御するデジタル空間(サイバー)の共通表現を可能とするデジタルインフラが必要となる。高精度3次元地図は安全・安心な交通環境構築に貢献するとともに、広義の高精度3次元データとして社会のデジタルインフラ基盤の役割を担っていくことが期待される。

参考文献

- 1) 道の地図データ使い燃費10%改善 トムトムとデルファイ、日本経済新聞(2020年6月26日)、英語版: Delphi Technologies, TOMTOM

(2021年9月28日受付)



■図-9 高精度3次元データを活用したソリューション

■麻生紀子 Aso.Noriko@dynamic-maps.co.jp

1982年三菱電機(株)入社。防衛宇宙関連システム開発を経て、宇宙技術利用促進事業に従事。2020年ダイナミックマップ基盤(株)に移籍。現在、高精度3次元地図の整備および新事業推進に従事。執行役員(技術担当)。