

林業機械走行管理システムの構築に向けた 位置情報通信実験

有賀一広*¹・中村幸児*¹・藤原章雄*²・齋藤俊浩*²
仁多見俊夫*¹・酒井秀夫*²・小林洋司*¹

The Examination of Location Information Communication System to Develop a Forestry Vehicle Management System

Kazuhiro ARUGA*¹, Koji NAKAMURA*¹, Akio FUJIWARA*², Toshihiro SAITO*²,
Toshio NITAMI*¹, Hideo SAKAI*² and Hiroshi KOBAYASHI*¹

1. はじめに

近年、間伐などの伐採作業を効率的に行うために日本林業へ導入された大型機械は^{1), 7)}、適切に使用されない場合、土壌攪乱や残存木の損傷など森林環境へ悪影響を引き起こす^{2), 6)}。森林環境への影響は機械や作業方法、林相や地形の違いによって異なるため、現在、日本各地で森林環境への影響とその回復状況が調査されている。また、乾燥が激しい熱帯では、大型機械の走行によって締め固められた土壌が回復するまでに長時間を要することが多く、土壌締め固めによる樹木の生長量減少が深刻な問題となっている⁹⁾。

土壌攪乱を低減させるために、機械の接地圧を下げる、車両系機械で集材できる場所でも架線集材を行うことなどが試みられている。重量物である木材を運搬する機械の接地圧を下げることには限界があり、また車両が走行できる場所で架線集材を行うことは、架設撤去の手間を考えた場合には受け入れにくい選択肢である。そこで、機械の走行経路の管理によって土壌攪乱を抑えること、すなわち、機械が走行する場所を限定して、攪乱面積を減少させるとともに、機械が同一地点を走行する回数を規制して、攪乱強度を抑えることが重要となる。本論文ではまず林業機械走行管理システムの概要を説明し、次にシステムの構築に向けて位置情報の通信実験を行ったので報告する。

2. 林業機械走行管理システム

林業機械走行管理システムについては、すでに仁多見らがフェラバンチャ・スキッドシステムで提案している¹¹⁾。システムは事務所にあるホストコンピュータ、GPS受信機から得られる位置情報や作業機から得られる樹種、材積などの作業情報を処理するために機械に搭載されたローカルコンピュータ、事務所と機械をつなぐ通信システムからなる。このシステムはフェラバンチャ・スキッドシステムばかりでなく、ハーベスタ・フォワーダシステム、また現在では小型の

*1 東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻

*1 Department of Forest Sciences, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

*2 東京大学大学院農学生命科学研究科附属科学の森教育研究センター秩父演習林

*2 University Forest in Chichibu, University Forests, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

GPS 受信機も発売されていることから、チェーンソー伐倒者に GPS 受信機を携帯させた場合、チェーンソー・林内走行車システムへの適用なども考えられる。

ハーベスタ・フォワーダシステムを例にとって実際のデータの流れを説明すると、まずハーベスタで立木を伐採し、その位置情報や作業情報をローカルコンピュータで処理した後、ホストコンピュータに送信する。ホストコンピュータでは作業効率や環境負荷を考慮して、フォワーダの集材経路を計画する。この計画をフォワーダに送信し、フォワーダはこの計画にそって作業を行う。なお、日本では作業前に林分調査を行い、伐採木が決定されるので、集材計画を事前に立てることができるが、実際に作業を行うと、伐採材積などが事前の調査と異なる場合があるので、作業中にリアルタイムで位置・作業情報を送信し、再度、計画しなおす必要がある。また、この林分調査は人手がかかり、人件費がかかるので伐採コストを押し上げる原因となっている。外国産材との価格競争力をつけるためには伐採コストを下げる必要があり、そのためには伐採木の選定を任せられるようにハーベスタのオペレータを教育し、事前の林分調査を不要としなければならない。林分調査が行われなくなった場合には、事前に計画を立てることはできないので、位置・作業情報の送信が必要となる。

ホストコンピュータによる集材経路の計画は、現在開発している GIS を用いた作業シミュレーション⁸⁾に、作業工期やコストに関する因子だけではなく、土壌攪乱や残存木への影響を低減化するための走行規制などに関する因子も導入して行う。走行規制に関して、仁多見らは作業車両に伐倒木の位置情報をフィードバックすることによって、車両の冗長な林内走行や材の位置直し作業を減少させ、森林の攪乱を軽減させることを提案している¹¹⁾。しかし、この方法では作業効率を考慮しながら走行距離がなるべく短くなるように、または材の位置直し作業がなるべく少なくなるようにとしか検討することができない。現在、インドネシアの例ではあるが、走行回数と樹木の生長との関係について研究を進めており¹⁰⁾、この研究によって樹木の生長に影響を与えない走行回数（許容走行回数）を提案することができれば、さらにきめ細かい走行管理が可能となる。例えば、走行距離がなるべく短くなるようにといった条件が、許容走行回数までは走行可能といったような具体的な条件となる。もし、作業を遂行する上でしかたなく許容走行回数を超えた場合には、その場所はコンピュータに記録されているので、その場所のみ植林など森林環境の維持を図る方策を採ればよい。

3. 位置情報の通信システム

Timberjack のハーベスタには、生産性と利益率を向上させることを目的として、双方向リアルタイムデータ通信が可能なシステムが、計測・制御システムの一部として搭載されている (<http://www.timberjack.com/>)。このシステムを利用すれば、現場で顧客の注文を受け、即座に最適な作業を計画することができる。同様なシステムを Ponnse では Windows 搭載の PC で構築しており、GPS 受信機で取得した自分の位置と伐採木の位置、伐採地域と保護地域の境界線などを見ることができる (<http://www.ponsse.com/>)。

このように海外では GIS, GPS, データ通信システムなどを搭載した林業機械がすでに発売されているが、これは主に経済的な面のみを考慮したシステムである。また、日本の通信規制は欧米と異なるため、このシステムをそのまま日本で利用することはできない。日本においても物流、タクシー業界などで走行管理システムが利用されているが、これらのシステムをそのまま森林内

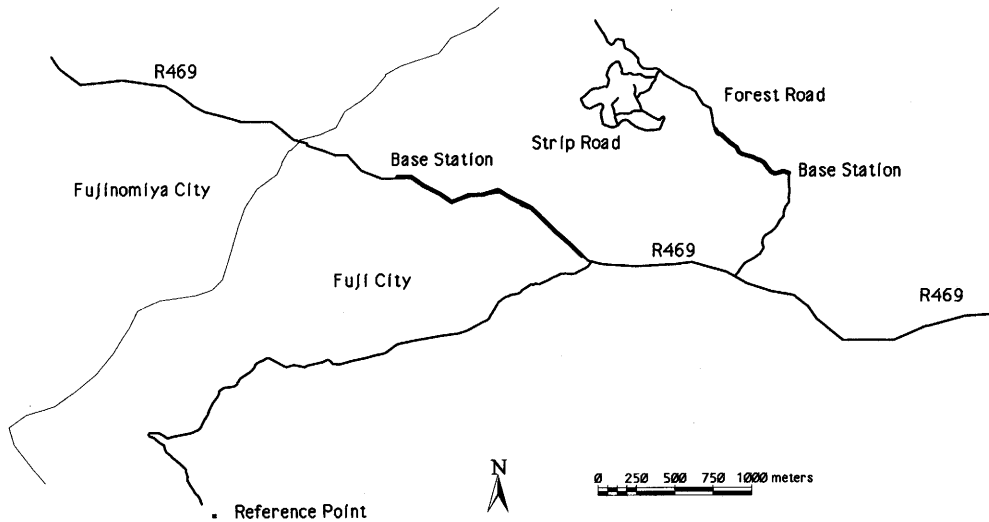


図-1 実験地（太線が通信成功）

Fig. 1. Research site (thick line is communication success).

で利用することはできない。そこで本章では森林における位置情報の精度と位置情報通信システムの利用可能性について検討した。

3.1 位置情報の精度

GPS を利用した位置決定にはいくつかの手法がある。1 つは衛星から送信される電波に載せられ、一般民生用として開放されている C/A コードを解読し、衛星と受信点との距離を計算し位置決定する単独測位の手法である。最近までは故意に信号を劣化させる SA (Selective Availability) を含み、100 m 程度の誤差となっていたが、2000 年 5 月 2 日に SA が解除され、水平精度は 36 m となった (http://www.peterson.af.mil/usspace/gps_support/documents/GPS_Signal_Spec.pdf)。

GPS 測位のもう 1 つの手法は相対測位であり、相対測位には DGPS 測位と干渉測位がある。DGPS 測位は、座標が既知である点に固定局を設けてアンテナを設置し、移動局と同時に位置測定し、その固定局の誤差をもって移動局の誤差を補正する。DGPS 測位では、DOP の値が小さいものを選択して取得すると、林内での使用時でも 2m 程度の誤差になると報告されている⁴⁾。干渉測位では受信機はコードが載っている搬送波自体の位相を読み取って受信点と衛星との間の距離を測定し、cm レベルの精度を得ることもできるが、森林内全域においてデータを継続して採取することは不可能なため、林業機械走行管理システムへの干渉測位の利用は困難であると考えられる³⁾。

単独測位の精度について、受信機に MAGELLAN 社の ProMark X を使用して確認したところ、上空の視界が良好であった茶畑の中にある富士市大富町の四等三角点では半径 4 m の円の中に測定点が入っており、SA の解除によって単独測位でも衛星配置、地形が良好な場合には誤差が 4 m 程度におさまった。この場所を基準点として 4 km 離れた富士市大淵地区民有林の作業道を DGPS 測位によって測量した (図-1)。この民有林は標高 500~690 m の南向き、平均傾



図-2 作業道
Fig. 2. Strip road.

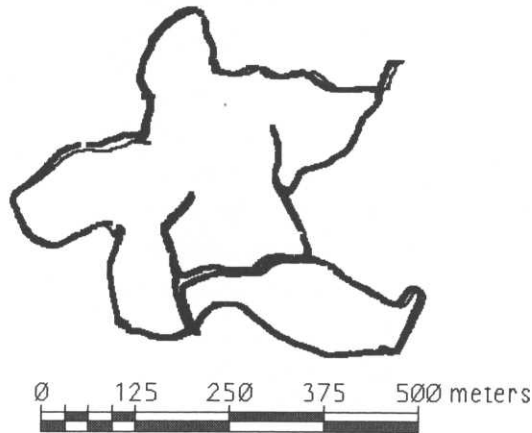


図-3 単独測位（細線）と DGPS 測位（太線）の比較
Fig. 3. Comparison between point positioning (thin line) and DGPS (thick line).

斜約 8% であり、50 年生のスギ、ヒノキが平均蓄材積 $213.84 \text{ m}^3/\text{ha}$ で生育していた。作業道の全幅員は 3~5m 程度である（図-2）。単独測位と DGPS の測量結果を比較したところ誤差は最大 15 m 程度であった（図-3）。森林においては衛星からの電波が樹冠などにより遮断されたため、単独測位の精度が悪化したと考えられる。したがって、単独測位の精度ではどの立木間を走行したか特定できないので、林業機械走行管理システムへの利用は難しいと考えられた。

次に DGPS 測位について考えてみると、林道、作業道では森林内と比較して上空が開けており、2 m 程度の精度で計測することができると考えられる⁴⁾。2 m 程度の精度であれば林道、作業道の路線はすでに地図上に路線が引かれていることが多く、どの路線か認識することができ



図-4 無線を用いた GPS データ通信システム

Fig. 4. GPS data communication system using radio system.

る。地図にまだ路線が引かれていなくても 5 千分の 1 の地形図であれば、2 m の誤差は地図上で 0.4 mm となり、地図上に路線を引くには十分な精度である。しかし、集材路の走行に関しては、伐採によって樹冠が多少開けるものの、林道、作業道に比べて狭く、集材路上では常に誤差 2 m 程度で DGPS 測位を行うことは困難であると考えられる。立木間 2 m の森林で林業機械が切株上を走行しながら伐採作業を行うことを想定すると、誤差が 2 m 以上となった場合には DGPS 測位により取得した機械の位置が隣接木より遠くなり、間違った走行経路として認識されてしまう可能性がある。集材路で林業機械の走行管理を行うためには、機械の位置の測定精度を 2m 以下に抑える必要があり、そのためには、速度計やジャイロを併用して機械の位置の測定精度を向上させる必要がある⁵⁾。

3.2 位置情報の通信実験

3.2.1 無線を用いたシステム トリンブルジャパンによると、無線免許を必要としない出力 10 mW の特定小電力無線機でデータ通信実験を行ったところ、見通しの良い場所でプリアンプを使用した場合には 2.5 km まで使用可能であったということである¹²⁾。しかし、それ以上の長距離となると難しく、森林ではこの距離はさらに短くなると考えられる。

そこで、10 W 以下の出力が可能な無線の免許を取得し、GPS データの通信実験を行った。システムには基地局、移動局ともにノートパソコン、GPS 受信機に Garmin 社の GPS III PLUS、無線機に出力約 4.5 W の Kenwood 社の TH-D7、GPS データの処理にシェアウェアの GPS Player、データ表示にアルプス社の ProAtlas 2000 を用いた (図-4)。移動局では GPS 受信機で取得した位置情報を無線機で基地局に送信するとともに、ノートパソコンにダウンロードし、ノートパソコンで処理、表示する。基地局でも受け取った位置情報をノートパソコンにダウンロードし、これを処理、表示、記録する。実験は、GPS 測位の精度を検証した民有林の南に位置する国道 469 号線 (図-5) と北に位置する林道 (図-6) で行った。基地局を道路の路肩に置き、



図-5 国道 469 号線
Fig. 5. Route 469.



図-6 林道
Fig. 6. Forest road.

移動局を車に搭載し、基地局から出発して、車で走行しながら実験した結果、国道で 1.2 km, 林道で 600 m 程度しかデータ通信ができなかった (図-1)。したがって、同一作業地域内でのデータ通信には使用できるが、作業地域と事務所などデータ通信が長距離となる場合には利用が難し

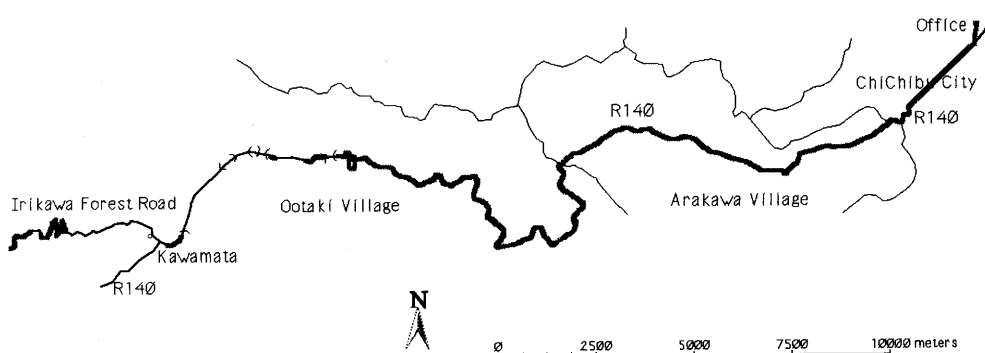


図-7 携帯電話を用いた GPS データ通信実験 (太線が通信成功)

Fig. 7. The examination of GPS data communication system using cellular phones (thick line is communication success).

いと考えられた。

3.2.2 携帯電話を用いたシステム 無線実験のとおり、携帯型無線機では長距離のデータ通信は困難である。したがって、広い地域で使用するためには中継地点となるアンテナなどの整備が必要となるが、これを各事業者で行うのは費用的に難しい。そこで、一般に利用可能で、近年、普及が目覚ましい携帯電話を用いて、森林内でのデータ通信について実験した。システムは移動局の GPS 受信機にトリンプル社の AgGPS124, GPS データの処理に池谷電機の IS Speed を用いた。GPS 受信機によって得られたデータを 1 度パソコンに取りこみ、パソコンにつないだ携帯電話を使って、事務所のパソコンに送信した。実験は東京大学秩父演習林事務所から国道 140 号線を経由して、直線距離にして 25 km 先の入川林道までを往復して行った (図-7)。実験の結果を見ると、川俣の前後でデータ通信が失敗しているところがあるが、これは国道についてはトンネルが多い区間であり、入川林道までの区間については沢沿いであるためである。しかし、大部分で通信可能であり、携帯電話を用いたリアルタイムで長距離の GPS データの通信が可能であった。したがって、森林においても携帯電話が使用可能な地域では、携帯電話を用いて実用に供するシステムが構築可能である。

ただし、携帯電話の通話エリアは通信事業者が費用対効果を考えて設定するため、人口密度の低い場所は通話エリアとなりにくい。多くの森林地域は人口密度が低いため通話エリアとはなっておらず、この状況は今後も変わらないと考えられる。そこでこのような地域での利用可能な通信システムを探ってみると衛星通信が思い浮かぶ。現在、林業機械のベースマシンとなる建設機械において衛星通信端末搭載機が販売されている (<http://www.hitachi-kenki.co.jp/>)。この機種では稼働時間、位置情報、燃料残量などのデータが 1 日 1 回自動的にサービスセンターに衛星通信を使って送信される。サービスセンターではこのデータを記録、解析することによって、整備予測を立てるなど機械管理に役立っている。衛星通信ならば森林においても通信可能であり、林業機械走行管理システムを構築する場合に有効である。しかし、衛星通信は費用が高く、リアルタイムでデータを送信することは費用的に困難である。したがって、衛星通信を用いた林業機械走行管理システムを構築するためには、衛星通信を搭載した建設機械の普及などによって衛星通信の需要が増え、通信費用が低下することが必要である。

4. おわりに

本論文ではまず林業機械走行管理システムの概要を説明し、次にシステムの構築に向けて森林における位置情報の精度と位置情報通信システムの利用可能性について検討した。位置情報の精度については、林業機械走行管理システムに用いるにはGPS測位だけでは精度的に問題があるので、今後、他のセンサーとの併用により精度を上げる必要があると考えられた。通信システムについては携帯電話を利用して構築することができるが、森林地域における携帯電話の通話エリアは限られるため、森林地域全域で林業機械走行管理システムを用いるには衛星通信の利用などを検討する必要がある。ただし、衛星通信は費用が高いため、今後の通信費用の低下が望まれる。しかしながら、これらの機器を利用して林業機械走行管理システムを構築できる可能性は示されたので、今後は許容走行回数の決定法やこの許容走行回数を超えないような集材計画法を確立し、林業機械走行管理システムを構築する。

なお、このシステムは作業を行いながらデータを取得できるため、生産林における作業だけでなく、保護地域での育林作業でもデータの取得が可能であり、資源管理を効率的に行うことが可能となる。また、このシステムによって森林情報を電子的なものに置き換えれば、森林資源の管理から生産、販売までコンピュータ上で一貫して行うことができ、効率的な経営が可能となる。

本研究は文部科学省平成13年度～平成14年度科学研究費補助金（奨励研究(A)）課題番号：13760110「林業用大型機械の走行による土壌攪乱低減に関する基礎的研究」研究代表者有賀一広の助成を受けて行われた。最後に実験機材を提供して頂いたトリンプルジャパン(株)樋口良彦氏に感謝します。

要 旨

本論文ではまず林業機械走行管理システムの概要をハーベスタ・フォワードシステムを例にとって説明し、作業効率や環境負荷を考慮した集材計画について議論した。次にシステムの構築に向けて森林における位置情報の精度と位置情報通信システムの利用可能性について検討した。位置情報の精度についてはGPS単独測位の精度について四等三角点と作業道において実験を行い、相対測位の精度については既往の文献に基づいて議論したが、林業機械走行管理システムに用いるにはGPS測位だけでは精度的に問題があった。今後、他のセンサーとの併用により精度を上げる必要がある。通信システムについては無線と携帯電話を用いたシステムについて、国道と林道でGPSデータの通信実験を行った。携帯電話を用いたシステムではリアルタイムで長距離のGPSデータの通信が可能であったので、林業機械走行管理システムへの利用が可能であるが、森林地域における携帯電話の通話エリアは限られるため、今後は衛星通信の利用などを検討する必要がある。

キーワード：林業機械走行管理システム、位置情報、通信システム

引 用 文 献

- 1) 有賀一広・岩岡正博・酒井秀夫・小林洋司(1995)半脚式歩行機械による間伐作業. 森林研誌 10(2): 105-115.

- 2) 有賀一広・岩岡正博・酒井秀夫・小林洋司(1997) 林業用大型機械による作業跡地の経年変化. 森利学誌 12(2): 83-90.
- 3) 後藤純一・宮崎雅幸(2001) 森林内における搬送波位相による GPS 静的干渉測位の精度. 森利学誌 16(2): 111-120.
- 4) 長谷川尚史・吉村哲彦・山手規裕・境 慎二郎・福田昌史(1998) 山岳林におけるディファレンシャル GPS の測位精度と手法の検討. 森利学誌 13(2): 89-98.
- 5) Kenji IMOU, Tsuguo OKAMOTO, Yutaka KAIZU, Hiroki YOSHII (2001) Ultrasonic Doppler Speed Sensor for Autonomous Vehicles. J. JSAM 63(2): 39-46.
- 6) Masahiro IWAOKA, Kazuhiro ARUGA, Hiroshi KOBAYASHI, and Siaw ONWONA-AGYEMAN (1999) Residual Stand Damage after a Line Thinning Operation with a Crawler Type Harvester and a Forwarder. Proc. of Timber Harvesting and Transportation Technology for Forestry in the New Millennium Pietermaritzburg South Africa: 179-187.
- 7) Masahiro IWAOKA, Kazuhiro ARUGA, Rin SAKURAI, Cho Koo HYUN, Hideo SAKAI, and Hiroshi KOBAYASHI (1999) Performance of Small Harvester Head in a Thinning Operation. J. For. Res. 4(3): 195-200.
- 8) 小林洋司・櫻井 倫・曹 丘鉉・酒井秀夫・岩岡正博・仁多見俊夫(1999) GIS を用いた間伐材搬出計画. 森利学誌 14(3): 193-198.
- 9) Juang Rata MATANGARAN and Hiroshi KOBAYASHI (1999) The effect of tractor logging on forest soil compaction and growth of *Shorea selanica* Seedlings in Indonesia. J. For. Res. 4(1): 13-15.
- 10) Juang Rata MATANGARAN (2000) Impacts on Soil Compaction by Forestry Operation. 122 pp, Doctoral Thesis, The University of Tokyo.
- 11) Toshio Nitami and Hiroshi Kobayashi (2000) Environmental Damage Control by Information System for Harvesting Vehicles. Proc. of IUFRO world Congress 2000: 77-78.
- 12) トリンブルジャパン(1998) 特定小電力無線モデムの伝送距離. Technical Note 3.

(2001年8月30日受付)

(2002年7月12日受理)

Summary

The paper describes first the forestry vehicle management system for a harvester and forwarder system, and discusses a logging operation taking into account operational efficiency and environmental impacts. Then the paper discusses the precision of location information and the availability of the communication system in the forest to the forestry vehicle management system. According to the precision of location information, the precision of point positioning was examined at a fourth graded triangulation point and on a strip road, and the precision of DGPS was discussed on the basis of other researches. The precision of point positioning or DGPS is not accurate enough to develop the forestry vehicle management system. Therefore, the precision of location information must be improved using both GPS and other sensors. According to the availability of the communication system, transferring GPS data by radio system and cellular phones were examined on national roads and forest roads. Using cellular phones will enable the development of a vehicle management system because the real-time and long-distance transmission test of GPS data using cellular phones succeeded. But cellular phones cannot always be used in the forest. Therefore, utilization of the satellite communication system must also be discussed.

Key words: Forestry Vehicle Management System, location information, communication system

Abstract

Precipitation Characteristics in the Kiyosumi Range of Boso Peninsula (II) —Inter-annual fluctuation of heavy precipitation in Kiyosumi—

Koichiro KURAJI, Chieko YAMANAKA, Toshio NAGASHIMA,
Isamu KARAKAMA and Makoto SUZUKI

As a part of research concerning precipitation characteristics in the Kiyosumi Range in the Boso Peninsula, the long-term trend of the seasonal precipitation and some factors related to heavy rain at the Kiyosumi Weather Station were analyzed. It was found that the spring and summer precipitation increased whereas the autumn and winter precipitation decreased. The maximum daily precipitation for each year, the number of rainy days with precipitation larger than 50 mm/day, and the precipitation amount and proportion of precipitation to the annual precipitation by precipitation larger than 50 mm/day increased.

The Examination of Location Information Communication System to Develop a Forestry Vehicle Management System

Kazuhiro ARUGA, Koji NAKAMURA, Akio FUJIWARA, Toshihiro SAITO,
Toshio NITAMI, Hideo SAKAI and Hiroshi KOBAYASHI

The paper describes first the forestry vehicle management system and then discusses the precision of location information and the availability of the communication system in the forest. The precision of GPS is not accurate enough to develop the forestry vehicle management system. Therefore, the precision of location information must be improved using both GPS and other sensors. The real-time and long-distance transmission test of GPS data using cellular phones succeeded, but cellular phones cannot always be used in the forest. Therefore, utilization of the satellite communication system must also be discussed to develop the forestry vehicle management system.