

## ノクターナルを利用した緯度測定

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2023-05-30 キーワード (Ja): キーワード (En): Nocturnal, Latitude, Celestial Navigation 作成者: 田中, 隆博, 吉原, 知里, YOSHIHARA, Chisato メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.15053/0000000184">https://doi.org/10.15053/0000000184</a>

## 【研究ノート】

## ノクターナルを利用した緯度測定

田中 隆博<sup>1</sup> 吉原 知里<sup>2</sup>

## Determination of Latitude by Using Nocturnal

Takahiro Tanaka<sup>1</sup> and Chisato Yoshihara<sup>2</sup>

## Abstract

The nocturnal is an instrument to know the local solar time indirectly by measuring the local hour angle of a specific star at night on the ocean. In the northern hemisphere, except for “the latitude by meridian altitude”, a way to measure the elevation of the Polaris is considered as a method for determining the own latitude. It was shown how to measure latitude roughly by utilizing the nocturnal in the 17th century, there has been no progress since then.

In order to measure the hour angle of the Polaris, we made an instrument based on the principle of the nocturnal. We attempted to determine the latitude using the method of elevation of the Polaris with this instrument. As a result, it was confirmed that this method has sufficient precision to determine the own ship's latitude on the ocean.

**Keywords:** Nocturnal, Latitude, Celestial Navigation

## 1 はじめに

経度の測定ができるようになる以前は、天体による緯度の測定と磁気コンパスやログなどの古典的な航海計器で測定した情報を組み合わせた推測航法に基づいて大洋航海をしていた。そのような時代にあっても、緯度については視正午に太陽の正中高度を測定することで得られる、いわゆる子午線高度緯度法によって比較的容易かつ精密に測ることができた。太陽以外の天体を用いて緯度を測定する方法として、北半球においては北極星の高度を利用する手段が考えられるが、17世紀頃にノクターナルを活用した北極星の高度を改正することによるおおまかな緯度測定方法が示されて以降は進展がなく、その後、北極星の高度観測による精密な緯度の測定に関する航海学の分野での記述は、クロノメータの出現によって時角の計算ができるようになって以降の19世紀初めまでほとんどなかったとされる<sup>1)</sup>。

ノクターナルはもともと夜間に地方太陽時（太陽の時角）を計測するための器具であるが、この原理を用いて北極星の時角測定用のノクターナルを作成し、練習船こじま遠洋航海中にこれを用いて実際に緯度を測定する機会を得たため、その結果を紹介する。

## 2 ノクターナルについて

## 2.1 ノクターナルの測定原理

北極星付近の特定の恒星（こぐま座のKochabやPherkadなど）が北極星とほぼ12<sup>h</sup>の赤経差があることから、ノクターナルを利用してこれらの恒星の極周りの回転角を測定することによって間接的に北極星の天の北極との位置関係を知ることができる。そして、特定の恒星の位置関係から北極星の高度と天の極との高度差を推定し、高度測定器（八分儀や六分儀が登場する以前のクロススタッフの時代）で測定した高度を改正し概略の緯度を得る方法が16世紀頃に考案され、ある程度は実用に役立ったようである。この北極星を利用して高度を求める方法は、17世紀頃にかけてその後いくらか改良がなされたものの、クロノメータが登場し正確な時角が計算できるようになり、再び緯度の測定に北極星が利用され始めるまで、「理由はわからないが、18世紀と19世紀の航海に関する本では、北極星観測による緯度の測得についての記述はほとんどなかった・・・（中略）・・・一方でこれら後世の著述家たちは、対象とされる星がいつ子午線上に来るのかを知る方法、またその時間に行われる星の観測から緯度を知る方法を船員に教えた。」<sup>1)</sup>とされているように、いつしか簡易的な方法へ収束する

Received November 15, 2013

<sup>1</sup> 海上保安大学校 tanaka@jcga.ac.jp

<sup>2</sup> 海上保安大学校

こととなった。ノクターナルを利用しての緯度測定手法がより発展的な方向に向かわなかった理由は、17世紀当時知り得た北極星の座標の精度が高くなかったことやその手法の適用には地理的に制約があったことが挙げられる。さらに、北極星による緯度の測得と太陽の子午線正中高度による緯度の測得と比較すれば、後者の方がはるかに容易かつ正確であったため他の手段の必要性を求める要請が強くなかったことや時代として経度測定の問題に大きな関心があったことも少なからず影響していたものと考えられる。

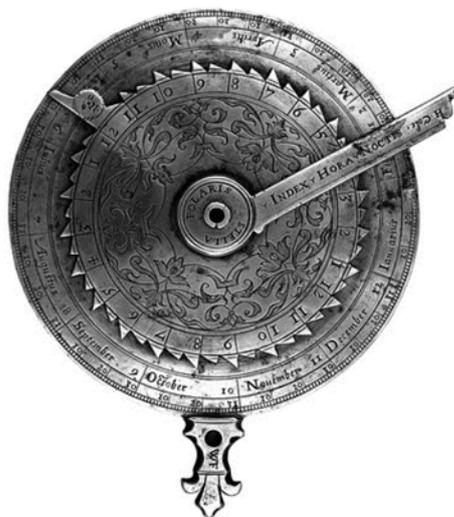


図1 ノクターナル<sup>2)</sup>

ノクターナルにはいくらかバリエーションがあるが、図1に示す外観のものが一般的なタイプである。構造としては日付ダイヤル、時刻ダイヤル、インデックスアーム、持ち手などからなり、ダイヤルの中心は北極星を覗き見るために穴が設けてある。同図に示すノクターナル（ダイヤル直径約8cm）の使用法<sup>2)</sup>は、まず、内側の時刻ダイヤルを回して時刻の基準となる観測日の太陽の位置をセットする。つぎに、手鏡のように持ち手をもって夜空に掲げ、中心の穴に北極星をとらえつつ特定の恒星がインデックスアームの縁部の直線に乗るようにインデックスアームを回し、そのときインデックスアームと太陽の方向とのなす角から地方太陽時を求めるといふ古典的な原理の計測機器である。ダイヤル上には季節的な太陽の位置と地方太陽時に相当する数値が刻まれており、これらの関係から地方視時を得る。そこで得た時刻は推測航法のための航走時間や夜間当直交代の時刻を知るために利用できた。

多くの場合、測定には天の北極周辺のこぐま座やおおぐま座の恒星が用いられる。図1のノクターナルは太陽とインデックスアームの位置関係からこぐま座β（No.2 Kochab）専用で作られたものであると推定でき

る（ただし、同図のノクターナルは、持ち手状の部分に設けられた穴に紐などを通して吊り下げて用いたものと推測され、図の上下は逆と考えられる。）。このノクターナルは時刻読み取り用の歯が30<sup>m</sup>毎にしか刻んでいないことから、10<sup>m</sup>程度の精度で時刻の測定をする目的で作られたものと考えられる。

## 2.2 北極星の時角測定用ノクターナルの作成

北極星高度緯度法と組み合わせて緯度測定を行うために、図2に示す北極星の時角測定用のノクターナル（ダイヤル直径約16cm、アーム長約21cm）を作成した。このノクターナルは同図に示すように、①時角ダイヤル（目盛は10<sup>m</sup>間隔、1<sup>m</sup>の単位は目測での読み取り。）、②星座板（特定の恒星だけではなく、恒星の赤緯（d）が  $d = +40 \sim +90^\circ$  の範囲の任意の常用恒星等を選択できるようにした。）、③恒星測定用インデックスアーム、④吊下げ紐・錘から構成される。なお、今回の北極星を用いた緯度測定手法には太陽の時角（または地方視時）を知る必要がないことから日付ダイヤルは省いた。

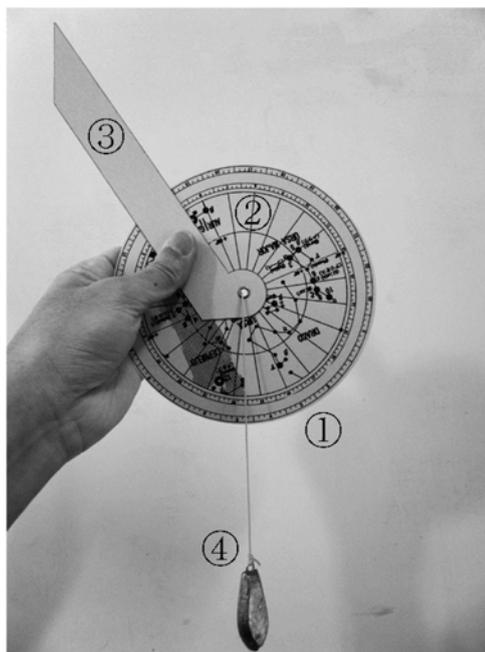


図2 北極星の時角測定用ノクターナル

作成した北極星の時角測定用ノクターナルの①時角ダイヤルには、北極星の赤経方向を12<sup>h</sup>（時角は吊下げ紐によって極下子午線側で測るため、北極星の赤経方向が12<sup>h</sup>（+180°）となる。）として東周りに0<sup>h</sup>～24<sup>h</sup>の目盛を刻んだ。使用法は、まず、②星座板から計測に使用する恒星を選択する。つぎに、③恒星測定用インデックスアームを回し、夜空に掲げて選択した恒星の方向に向け、アーム縁部の直線上に北極星と選択した恒星が乗るようにノクターナル全体を地軸方向まわりに回して

表1 試験計測の結果

JST (2013年)		ノクターナルで計測した恒星名	ノクターナルによる北極星の時角	北極星の計算時角	時角の誤差
3月28日	20 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	No.11 Capella	06 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	06 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup>	-06 <sup>m</sup>
	23 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup>	No.3 Dubhe	08 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	08 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup>	+04 <sup>m</sup>
	23 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	No.2 Kochab	09 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup>	08 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	-26 <sup>m</sup>
3月31日	19 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	No.11 Capella	05 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	05 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup>	+05 <sup>m</sup>
	20 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	No.2 Kochab	06 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup>	06 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	+05 <sup>m</sup>

測定場所：呉

調整する。そのとき④吊下げ紐が①時角ダイヤル上で指し示す値が北極星の時角となる。なお、ダイヤルの中心に北極星の覗くための穴を設けたが、吊下げ紐によって鉛直方向が指示されているので、アーム縁部の直線上に北極星と測定に使用する恒星を乗せればよく、必ずしも図1に示す一般的なノクターナルのようにダイヤル中心の穴で北極星をとらえる必要はない。

この北極星の時角測定用のノクターナルを使って、遠洋航海出港前に行った試験計測の結果を表1に示す。同表の結果から、3月28日の No.2 Kochab の測定で大きな誤差を生じている以外は10<sup>m</sup>以内の精度で時角を測定できた。洋上の不安定な船上での計測困難さを勘案しても北極星高度緯度法で必要な精度（要求緯度精度にもよるが、数'程度の緯度精度であれば10<sup>m</sup>程度の時角精度で充分と言える。試験計測では時角は5<sup>m</sup>単位で読み取った。）で時角を測定することが期待できる。

一般的には、極に近い恒星は極距が短いため時角の計測が困難となり誤差が生じやすい。反対に恒星が天の極から離れるほど測定アームの直線と時圏（大圏）との間に差が生じてしまうため計測誤差が生じやすくなるが、試験計測においては No.11 Capella ( $d = +46.0^\circ$ ) による結果は良好であった。

### 3 ノクターナルを利用した洋上での緯度の測定

#### 3.1 緯度測定の手順

つぎの i)~iv)の手続きで北極星高度緯度法と組み合わせて緯度を測定する。

i) 六分儀で北極星の高度を測定する。後の検証のため、このときの時刻と船位（GPS）を記録する。

ii) 作成したノクターナルを利用して北極星の時角を測定する。

iii) i)で得られた高度を真高度に改正し、ii)の時角を使って天測暦の北極星緯度表第1表～第3表<sup>4)</sup>によって実測緯度を求める（簡易的には第1表に+1.0'した値を修正することで足りる）。

iv) GPS で得られた緯度を真の緯度として、真の

緯度と iii)で求めた実測緯度と比較して測定手法としての精度を検証する。

なお、北極星の単位時間当たりの高度変化は小さいため、ステップ i)と ii)との間の時刻（時角）を更正する必要はないが、可能な限り短時間（数分程度）で測定を済ませることが求められる。

北極星の高度変化が小さいので、実習生のように六分儀の扱いに慣れていない者でも太陽の子午線正中時の高度測定と同様に比較的精度良く測定ができる。また、ここで試みようとしている手法では時刻を知る必要もなければ時角の計算も不要であるので、極めて短時間で緯度を測得することができる。ノクターナルを利用した手法が、緯度誤差が数'以内に収まることが示されれば、現在においても大洋航行であれば十分に通用する方法と言える。

#### 3.2 洋上での測定結果

遠洋航海中に洋上で測定した結果を表2に示す。2.2で説明したとおり、時角の読み取りは10<sup>m</sup>程度の精度でよいが目測で1<sup>m</sup>の精度で読み取った。同表において、「高度測定日時（UT）」と「船位（GPS）」から「北極星の計算時角」及び「北極星の計算高度」を算出し、この「北極星の計算高度」と「六分儀による北極星の高度測定」欄の「真高度」との差から「測定誤差」を算出した。すなわち、「測定誤差」は観測者である実習生の個人誤差である（「真高度」より計算高度が大きい場合を正として符号を表記）。観測者が六分儀の扱いに慣れていない時期の測定①に加え、測定⑥⑦⑩⑪で大きな測定誤差を生じている。測定誤差の平均絶対誤差（「計算高度」と「真高度」との差の絶対値の平均）は4.6'であり、熟練の航海士によれば1'以内の精度で測定できることと比べるとやや大きな値となっている。

同表の「ノクターナルによる北極星の時角測定」欄に、測定した「時角」及び「北極星の計算時角との差」を示している。測定⑩⑪で1時間を超える大きな差が生じているが、備考欄に記述されている「水平線不明瞭」とは

表2 測定結果

高度測定日時 (UT)	船位 (GPS)		北極星の計算 時角	北極星の 計算高度	六分儀による北極星の高度測定		ノクターナルによる北極星の時角測定			実測緯度	実測緯度とGPS の緯度との差	測定法として の誤差	備考
	緯度	経度			真高度※	測定誤差	使用恒星名	時角	北極星の計算時 角との差				
① 5月10日 10 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup>	30°11.5'N	149°42.8'E	08 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	29°46.5'	29°57.8'	-11.3'	No. 5 Merak	08 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	-10 <sup>m</sup>	30°30.2'N	-9.7'	+1.6'	
② 6月16日 02 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup>	40°22.8'N	072°17.4'W	12 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup>	39°42.0'	39°43.2'	-1.2'	No. 5 Merak	12 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	+22 <sup>m</sup>	40°23.8'N	-1.0'	-0.2'	
③ 6月21日 22 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup> 47 <sup>s</sup>	40°01.9'N	030°29.7'W	11 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup>	39°21.0'	39°19.8'	+1.2'	No. 5 Merak	11 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>	-12 <sup>m</sup>	40°00.0'N	+1.9'	-0.7'	
④ 6月22日 01 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> 18 <sup>s</sup>	39°55.3'N	029°15.8'W	15 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup>	39°27.9'	39°27.4'	+0.5'	No. 5 Merak	15 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup>	+10 <sup>m</sup>	39°53.1'N	+2.2'	+1.7'	
⑤ 6月24日 23 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> 33 <sup>s</sup>	35°38.4'N	009°57.8'W	14 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	35°03.6'	35°01.0'	+2.6'	No. 5 Merak	14 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>	+06 <sup>m</sup>	35°35.0'N	+3.4'	+0.8'	強風
⑥ 6月25日 00 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> 10 <sup>s</sup>	35°42.3'N	009°27.7'W	15 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup>	35°19.2'	35°12.2'	+7.0'	No. 5 Merak	15 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	-29 <sup>m</sup>	35°39.3'N	+3.0'	+4.0'	強風
⑦ 6月26日 20 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup> 11 <sup>s</sup>	39°01.8'N	000°54.0'W	11 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>	38°20.8'	38°09.2'	+11.6'	No. 5 Merak	11 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	-27 <sup>m</sup>	38°49.5'N	+12.3'	+0.7'	
⑧ 6月27日 00 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup> 24 <sup>s</sup>	39°50.2'N	001°43.0'E	15 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup>	39°28.6'	39°29.3'	-0.7'	No. 5 Merak	15 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	-08 <sup>m</sup>	39°51.9'N	-1.7'	-1.0'	
⑨ 6月27日 20 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup>	42°46.7'N	004°52.7'E	12 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>	42°05.8'	42°02.4'	+3.4'	No. 5 Merak	11 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	-34 <sup>m</sup>	42°43.2'N	+3.5'	+0.1'	強風
⑩ 6月28日 23 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup>	42°50.4'N	004°56.3'E	14 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup>	42°21.4'	42°12.1'	+9.3'	No. 7 Schedir	14 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>	-19 <sup>m</sup>	42°44.1'N	+6.3'	-3.0'	強風
⑪ 7月04日 19 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> 19 <sup>s</sup>	35°28.3'N	017°14.5'E	12 <sup>h</sup> 49 <sup>m</sup>	34°48.2'	34°56.0'	-7.8'	No.12 Deneb	14 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup>	+1 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>	35°31.3'N	-3.0'	+4.8'	水平線不明瞭
⑫ 7月05日 18 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup> 27 <sup>s</sup>	34°25.2'N	023°47.6'E	12 <sup>h</sup> 08 <sup>m</sup>	33°44.2'	33°43.9'	+0.3'	No.12 Deneb	13 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup>	+1 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	34°22.3'N	+2.9'	+2.6'	水平線不明瞭
⑬ 7月07日 17 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup> 19 <sup>s</sup>	31°24.7'N	032°15.5'E	12 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>	30°43.8'	30°46.2'	-2.4'	No. 6 Alioth	12 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	+04 <sup>m</sup>	31°27.0'N	-2.3'	+0.1'	

※器差、高度改正後の値

関係はなく、天の極から離れている No.12 Deneb の測定に不慣れであったことが原因となったか、天体誤認やダイヤルの読取り間違いなどの何らかの誤謬が介入していたものと考えられる。「北極星の計算時角との差」の平均絶対誤差は25.4<sup>m</sup>、測定①②については排除したとしても16.5<sup>m</sup>であり、表1の試験計測の結果と比べると誤差が大きくなっている。このような結果となった理由は、船体動揺によってアーム縁部に2つの恒星をとらえることが難しくなることと、吊下げ紐の振れの影響が誤差を大きくさせる主たる要因である。

つぎに、「真高度」に天測暦の北極星緯度表の補正をして「実測緯度」を求め、「実測緯度とGPSの緯度との差」が緯度誤差となる。測定①⑦⑩が大きな緯度誤差を生じ、緯度誤差の絶対値の平均は4.1' とやや大きくなった。この緯度誤差は、観測者の測定技量に基づく誤差と測定手法としての誤差をも含んだ結果で生じるものであるため、この数値をもって測定手法としての優劣を評価することは適切でない。そのため、この緯度誤差から先に説明した「測定誤差」を減じて「測定法としての誤差」を示した。この誤差は測定⑥⑩でやや大きくなっているが、「測定法としての誤差」の絶対値の平均は1.6' であることから、緯度誤差は観測者の測定技量の影響を相当受けていることがわかる。この結果から、熟練航海士による六分儀の測定精度を考慮すれば緯度誤差を3' 程度で実現できることになり、古典的な計測機器を用いた測定としては良好な精度が得られると考えてよい。また、測定②⑨⑬の「測定法としての誤差」がほとんどないことと、測定⑫で1時間を超える大きな時角誤差を生じているにもかかわらず誤差が大きくなっていない理由は、いずれも北極星が極下子午線付近に存在していたことによるもので、北極星高度によって簡易的に緯度を知る方法として「対象とされる星がいつ子午線上に来るのかを知る方法、またその時間に行われる星の観測から緯度を知る方法を船員に教えた。」ことにも通じる結果を示している。

以上の結果から、ノクターナルを利用した手法はその原理を理解した上で使用すれば、緯度測定手法としては実行の容易さや精度の面から見ても大洋航行をする上では実用性のある方法であると言える。

#### 4 おわりに

北極星の時角測定用のノクターナルを作成し、練習船こじま遠洋航海中に実際に緯度を測定し、動揺のある船上でも 20<sup>m</sup> 程度の時角誤差で測定ができ、熟練航海士であれば北極星高度緯度法によって緯度誤差 3' 程度に収められることが確認できた。この誤差は、昨年度のこじま遠洋航海中に古典的な経度測定法である月距法の検証<sup>4)</sup>の結果が経度誤差 5°

を超えていたことと比べればはるかに高い精度である。

今回試みた緯度測定手法は時計（時刻）を必要としないことに加え、時角の計算も不要であり、六分儀の測定高度を改正すれば即座に緯度が得られるという利便性がある。なお、実際の観測にあつては、天の極からの角距離が大きくない恒星（No.2 Kochab, No.3 Dubhe, No.4  $\beta$  Cassiop., No.5 Merak, No.7 Schedir が候補）を使用すること、北極星が天の子午線付近にある時機を狙って観測することで時角測定誤差が与える実測緯度への影響を軽減できることも考慮すべきである。

#### 参考文献

- 1) J.B.Hewson (杉崎昭生訳), 「交易と冒険を支えた航海術の歴史」, 海文堂出版, 2007, Part 2 Chapter 2, 260.
- 2) 大英博物館 (The British Museum) Web ページ [http://www.britishmuseum.org/explore/highlights/highlight\\_objects/pe\\_mla/n/nocturnal\\_and\\_tide\\_predictor.aspx](http://www.britishmuseum.org/explore/highlights/highlight_objects/pe_mla/n/nocturnal_and_tide_predictor.aspx)  
ノクターナルの使用方法は同 Web ページ [http://www.britishmuseum.org/explore/highlights/highlight\\_image.aspx?image=com3823a.jpg&retpage=23205](http://www.britishmuseum.org/explore/highlights/highlight_image.aspx?image=com3823a.jpg&retpage=23205) に図説.
- 3) 海上保安庁, 書誌 681 号 天測暦 (平成 25 年版), 2012.8, 436.
- 4) 田中隆博, 小林拓司, 島村圭一, 「月距法による時刻推定 ―間接測定による方法の実海域での検証―」, 海上保安大学校 研究報告 理工系第 56 巻 1・2 号合併号(2012), 11.