

## 鹿児島県阿久根市佐潟洞窟内のシリカ突起物

### Siliceous protrusions in the Sagata Cave, Akune city, Kagoshima Prefecture

レーマン ハフィーズ ウル<sup>1)\*</sup>・大木 公彦<sup>2)</sup>・高橋 智哉<sup>1)</sup>  
Hafiz Ur REHMAN<sup>1)\*</sup>, Kimihiko OKI<sup>2)</sup>, Tomoya TAKAHASHI<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 鹿児島大学理学部 地球環境科学科

<sup>1)</sup> Department of Earth and Environmental Sciences, Kagoshima University, Kagoshima 890-0065

<sup>2)</sup> 鹿児島大総合研究博物館

<sup>2)</sup> The Kagoshima University Museum, Kagoshima 890-0065

\* 責任著者 e-mail address: hafiz@sci.kagoshima-u.ac.jp

**Abstract:** A preliminary report is presented on the occurrence and geochemical compositions of the siliceous protrusions grown on the surface of the andesite in the Sagata cave, Akune city, Kagoshima prefecture. Rocks exposed in the vicinity of Sagata are dominantly Neogene and younger volcanic rocks (mainly andesites). The cave, investigated in this study, is formed within the andesite. The siliceous protrusions, ranging in size from 2 mm to 1.5 cm, have been grown on the andesite surface in random orientations. Microscopic observations of the protrusions show concentric zones indicating their progressive growth or precipitation. X-Ray elemental mapping showed the protrusions are characterized by Si and variable amounts of Fe. The structure of the protrusions resembles to those of the stalactites/stalagmites generally found in limestone caves but their chemical composition is dominantly Si- and Fe-rich without significant amount of Ca or Na that indicate non-involvement of saline water. Petrographic and chemical analysis showed the presence of amorphous silica, cristobalite, hornblende along with some mixed peaks of clay minerals suggesting their growth from the andesite through secondary alteration.

**Keywords:** Siliceous protrusions, amorphous silica, halloysite, hydrothermal process, Akune, Sagata cave

#### 1. はじめに

鹿児島県阿久根市中部の沿岸地域には、ジュラ紀の付加体「秩父帯」および白亜紀の付加体「四万十帯」を基盤とする堆積岩が分布しており、その上に新第三紀から第四紀の火山岩と堆積物が累重している (Fig. 1). その火山岩が東シナ海へ突き出した岬を形成し、佐潟鼻と呼ばれている。その岬に火山岩を穿った数メートルの洞窟があり、「佐潟の洞窟」と呼ばれているが、自然のものか、人工的なものかは明らかにされていない。

2017年6月、阿久根市商工観光課・企画調整課地方創生特命参事の小泉智資氏より、洞窟探検家の吉田勝次氏が佐潟洞窟内で発見した突起物について調査分析を依頼され、吉田氏が採取した標本が送られてきた。2018年4月26日(木)に阿久根市教育委員会生涯学習課文化係の宮田大之氏の案内で現地を訪れ、佐潟洞窟およびその周辺の地質調査を行い、洞窟内の安山岩およびその表面に成長している突起物を数個採取した。本論ではその突起物の産状及び化学組成について報告する。

#### 2. 地質概説

阿久根市は鹿児島県北西部に位置し、地質学的に西日本地体構造の二つの付加体 (ジュラ紀の秩父帯および白亜紀の四万十帯) を基盤としている。仙像構造線はこれらの二つの付加体を分断し、南北方向に連続している [1]。これらの基盤岩を覆って新第三紀から第四紀の火山岩 (おもに安山岩) と堆積物 (湖成層・火砕流堆積物) が広く分布している (Fig. 1)。

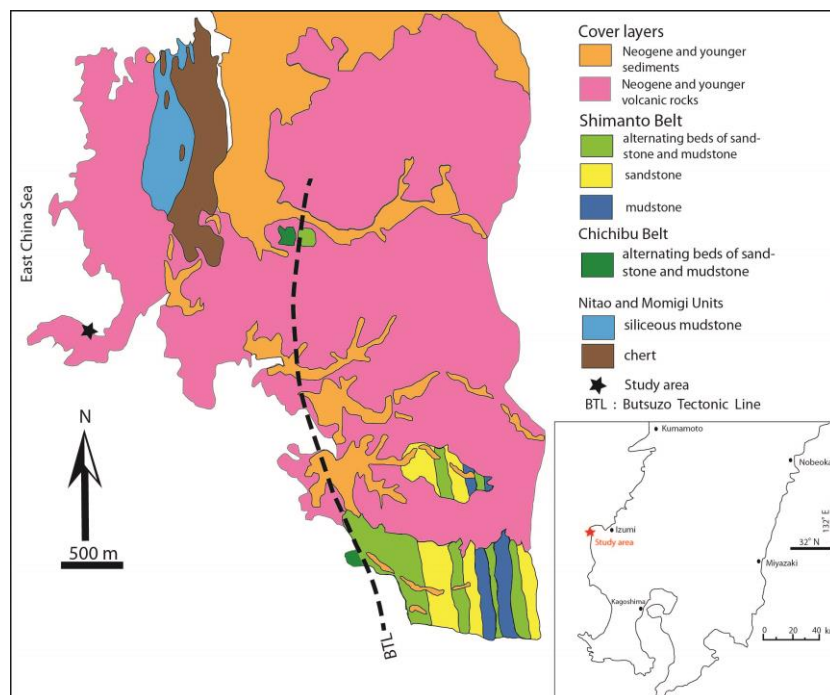


Fig. 1. Simplified geological map of the Akune area, Kagoshima prefecture (modified after Katsumura & Yamamoto 2016 [1] and references therein).

阿久根市中部の海岸では、海拔 68 m の陸繋島（トンボロ）の佐潟鼻が東シナ海へ突き出し、その北側は西に開いた小さな内湾になっている。佐潟鼻の地層について、宮地[2]は高城角閃安山岩類の紫蘇輝石・普通角閃石安山岩の溶岩流および凝灰角礫岩と報告している。その凝灰角礫岩にはほぼ水平に堆積した層理が見られ、変形などは認められない。佐潟鼻の高城角閃安山岩類は、鹿児島県地質図編集委員会[3]では古期火山岩類の角閃石安山岩と報告されている。宮地[2]は、阿久根地域に広がる新第三紀から第四紀に噴出した火山岩を、高城角閃安山岩類、阿久根火山岩類に分類し、両者とも凝灰角礫岩を伴うと報告している。その後、Miyachi[4]はジルコンフィッシュトラック年代を測定し、佐潟鼻の東方、阿久根市西目に分布する高城角閃安山岩類[2]を、薩摩川内市白滝に分布する高城角閃安山岩類の測定値（ $4.4 \pm 0.7$  Ma）より若いことから、新たに阿久根角閃安山岩類と再定義して  $1.6 \pm 0.5$  Ma の測定値を示した。Miyachi[4]は、佐潟鼻の角閃石安山岩を高城角閃安山岩類として地質図に示しているが、この角閃石安山岩のジルコンフィッシュトラック年代測定値はない。ちなみに阿久根市佐潟に分布する阿久根火山岩類（両輝石安山岩）のジルコンフィッシュトラック年代は  $1.3 \pm 0.7$  Ma と報告している。この地域について、満塩・五十嵐[5]も温泉開発のために、表層地質からおもに第四紀層の区分および環境の変動に関する調査を行なっている。

本研究で対象とする場所は佐潟鼻の北側斜面、海拔 12m 付近に存在する佐潟洞窟である（Fig. 2）。洞窟内は数メートルの空間があり、天井および横壁の安山岩の表面に 2mm 程度の粘土層を挟んで、円形で尖った突起物が成長している（Fig. 2a-c）。洞窟の壁には、突

起物以外に、「1537EM」と読み取れる落書きが刻まれている (Fig. 2b). 洞窟の入り口では安山岩が露出しており、安山岩の上に凝灰角礫岩が確認できる (Fig. 2d).

阿久根市の教育委員会の担当者から、種子島への鉄砲伝来（1543年）より6年前に阿久根が密貿易の拠点だったことが考えられ、ポルトガル人、オランダ人等が来ていたことと関係するのではというコメントがあった。また、一部の文献には、佐潟の洞窟の記述が残っているのは江戸時代後期に編纂された「三國名勝図絵」と書かれており、小湊崎の記述に「岩腹の窟あり・・」, 阿久根七奇に「小湊崎穴」とあり、その時期には世に知られていたが、それ以前の佐潟の洞窟に関する正式な資料はない。

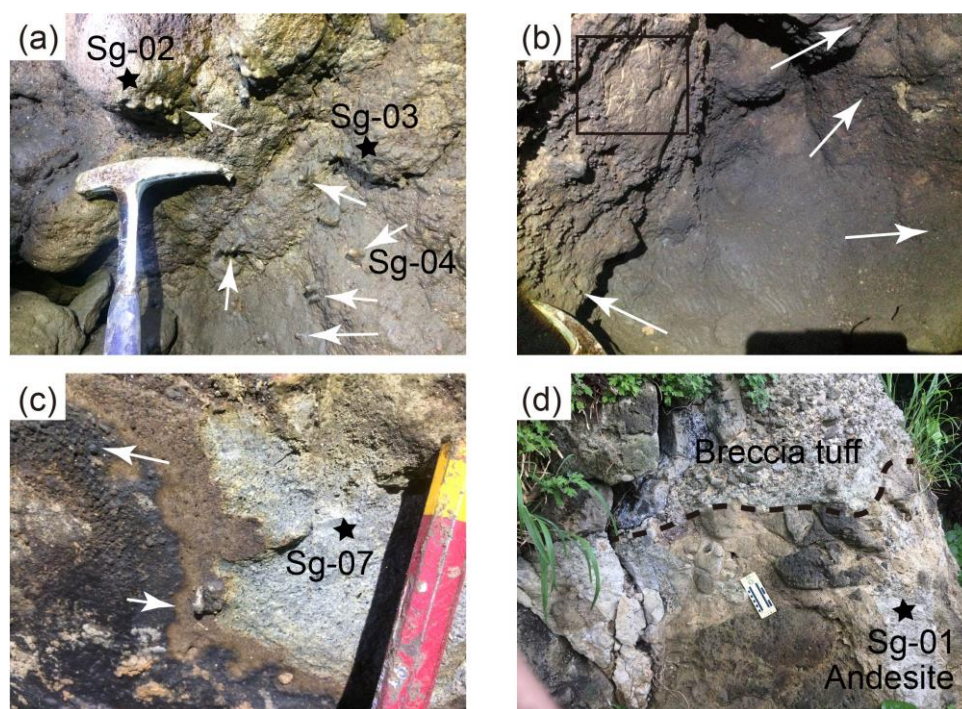


Fig. 2. Photographs showing the occurrence of siliceous protrusions grown above the andesite in the Sagata cave. (a) Inside view of the cave showing siliceous protrusions above the andesite. Note a dark layer of clay on the andesite. (b) Another view of the inside of the cave showing siliceous protrusions. A rectangular box at the top left corner shows the engraved text [1537EM]. (c) View of the andesite, along a vertical wall inside the cave, a brownish to dark color clayey layer and siliceous protrusions above. (d) A view of the andesite and breccia tuff exposed at the entrance of the Sagata cave. Black stars with sample number shows the location of representative samples and white arrows point towards the protrusions.

### 3. 研究方法

佐潟洞窟入り口から岩石試料（1個：Sg-01），洞窟内から岩石試料，それらに付いていた突起物および表面に風化物としてできている粘土（9個：Sg-02～10）の計10個の試料を採取した。それぞれの試料の薄片を作成し，とくに突起物がついていた試料を垂直および平行に

切断した面を対象に薄片を作成した。研磨後、薄片を光学顕微鏡下で観察し、岩石試料および突起物の表面元素マッピング、X線分析顕微鏡(XGT-5000)を用いて、行った。また、安山岩と突起物に含まれるおもな鉱物の化学組成を調べるために上記の機器を使用し、定量分析を行った。分析条件は15kVの電圧、1mAの電流および100 $\mu$ のXGT径で元素マッピング、10 $\mu$ の走査条件で定量分析を行った。測定した元素はSi, Al, Ti, Mg, Fe, Mn, Ca, Na, K, P, Cl, Cr, Ni, SおよびZrである。試料の詳細および分析結果は次項に述べる。

## 4. 結果

### 4.1. 突起物および岩石試料の組織

露頭観察では佐潟鼻はおもに角閃石安山岩で、佐潟洞窟の入り口および内部も安山岩が確認できる(Fig. 2a-d)。安山岩は中粒から細粒の角閃石を複数含み、火山ガラスや細粒の斜長石、石英や不透明鉱物からなる(Fig. 3a)。安山岩の表面に薄い黒色の風化された面(<2 mmの粘土)を挟んで突起物が成長している。

肉眼観察では、安山岩は中粒～細粒の黒色の角閃石、灰色の斜長石と無色の石英がよく見られる(Fig. 3a)。また、安山岩の表面を覆ってやや黒色の粘土とその上に同心円状の成長を示す突起物が確認できる(Fig. 3b-c, Fig. 5a)。同心円状の成長を示す突起物を垂直に切った面でも年輪のような模様が連続しており、中心から外への成長が確認できる(Fig. 5b)。

顕微鏡観察では、安山岩に角閃石、斜長石、石英や不透明鉱物が火山ガラスの石基に点在する(Fig. 4a)。Figure 4bは同心円状の構造を示し、赤色を呈することからFeに富むことがわかる。突起物のほとんどがシリカで、一部の粘土鉱物や孔隙なども多く含まれている(Fig. 4c)。また、突起物と安山岩の間に風化面が顕微鏡観察で確認できる(Fig. 4d)。

### 4.2. 突起物および岩石試料の化学組成

佐潟洞窟で採取した突起物および安山岩の水平および垂直面の全面元素マッピングをFigure 5およびFigure 6に示す。両試料ともSi, Feの濃度が高く、Ca, Na, Clなどはほとんど含まれていない。同心円状にSi, Feの成分が連続的に成長したと考えられる。顕微鏡観察およびXGT分析から、非晶質のシリカ、結晶質のクリストバライトや粘土鉱物などが確認できる。非晶質のシリカの突起物は火成岩の表面や火山地帯(ChileのEl Tatio 温泉地域 [6])からも報告されており、微生物の関連で成長していると解釈されているが、佐潟洞窟の突起物は微生物起源の証拠は確認できなかった。

世界のその他の(El Tatioを含む)火山地帯(Soufriere Hills volcano, Montserrat, Caribbean; Yellowstone, USA; Merapi, Indonesia; 雲仙, 日本)からもクリストバライト、非晶質のシリカおよび粘土鉱物(カオリナイト, イライト, ハローサイト, スメクタイトなど)が共存しており、熱水の影響で形成されると報告されている[6-12]。佐潟洞窟から採取した突起物はクリストバライトと非晶質のシリカや粘土鉱物が共存していることから熱水の影響とその後の常温での風化が起こっていることが考えられる。



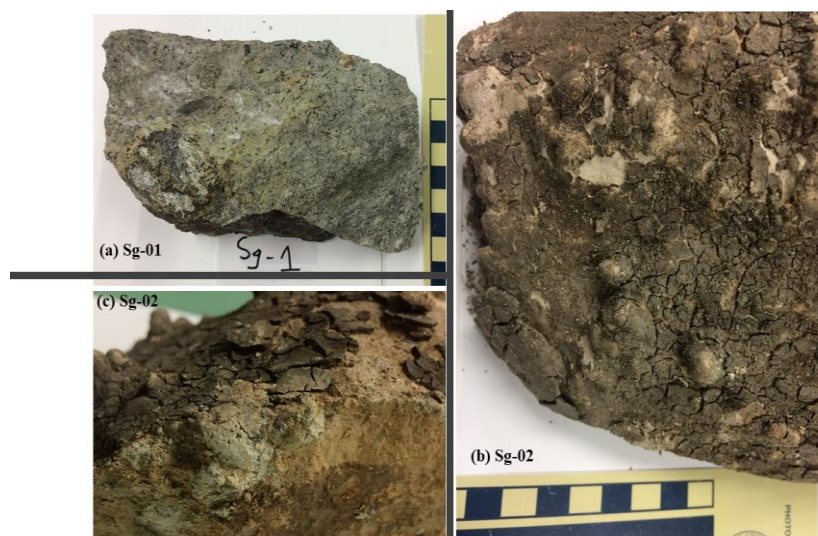


Fig. 3. Photographs of selected rock samples collected at the Sagata cave, Akune city. (a) A hand specimen of hornblende-andesite. (b-c) Hand specimen of hornblende-andesite showing the growth of siliceous protrusions above the clayey layer. Note, numerous cracks developed on the clayey layer after getting dried.

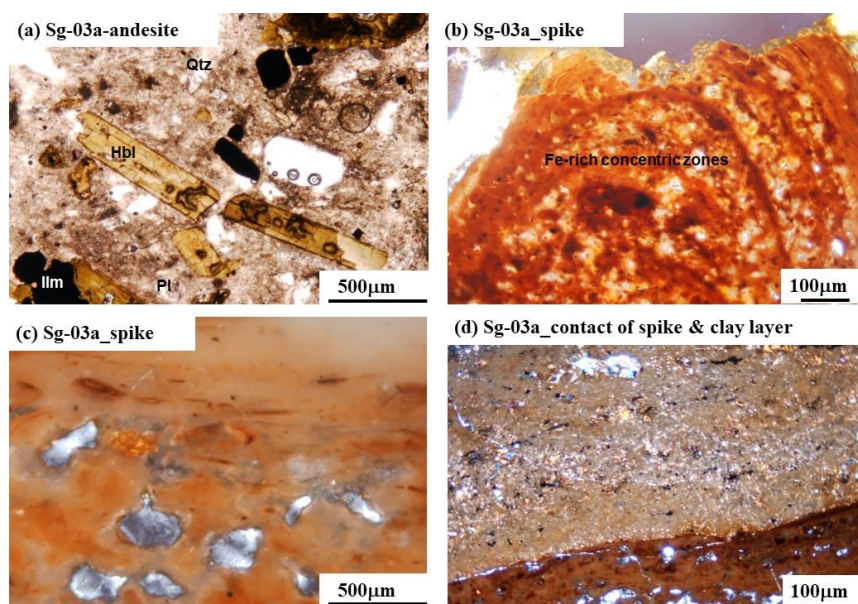


Fig. 4. Photomicrographs of representative rock sample and siliceous protrusions, collected from the Sagata cave, Akune area. (a) Photomicrograph of hornblende-andesite displaying hornblende (Hbl), ilmenite (ilm), plagioclase (Pl) and quartz (Qtz) in a fine-grained glassy matrix. (b) Concentric zones of the Fe-rich siliceous protrusions. (c) Enlarged part of the protrusion displaying amorphous silica and voids/pores. (d) Weathered surface of clay layer at the bottom of the siliceous protrusion (above portion) containing amorphous silica and fine-grained matrix.

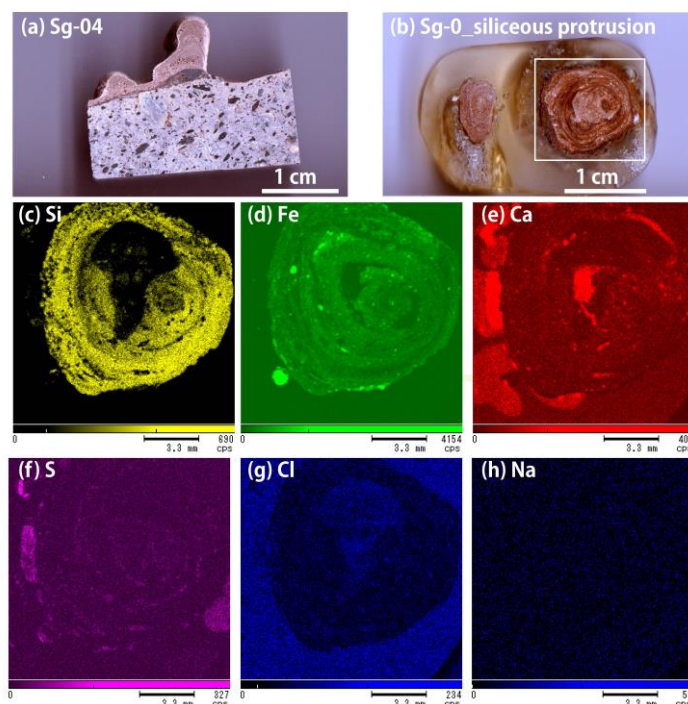


Fig. 5. (a) Photograph from a cut section of andesite and siliceous protrusions grown above (sample Sg-04). Note a dark brown clayey layer between andesite and protrusion. (b) Transverse section of the siliceous protrusion (sample Sg-0) displaying concentric growth or precipitated zone. (c-h) X-Ray elemental mapping (Si, Fe, Ca, S, Cl, and Na) of the siliceous protrusion enclosed in a square box in 'b'. Scale bar is 3.3 mm long.

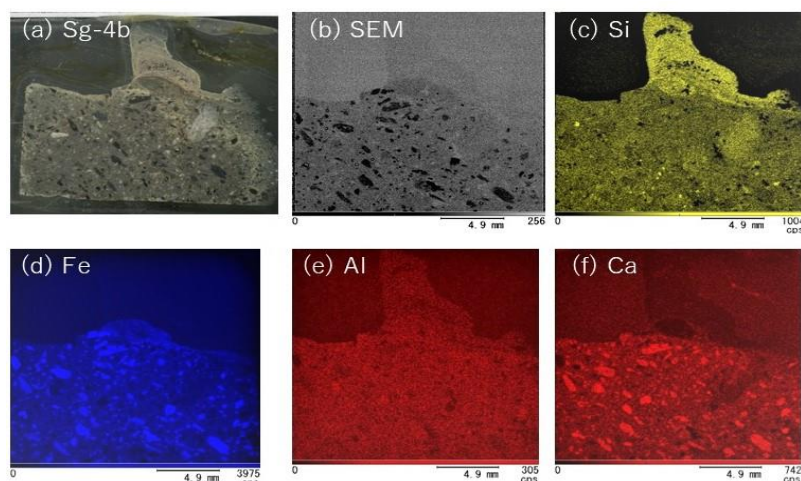


Fig. 6. (a) Scanned image of a thin section (shown in Fig. 4a; sample Sg-04) displaying textural features of andesite and the siliceous protrusion above the andesite. (b) Secondary electron image of the thin section which was analyzed for elemental mapping using the XGT. (c-f) X-Ray elemental mapping (Si, Fe, Al, and Ca) of the siliceous protrusion and andesite. Scale bar is 4.9 mm long.

## 6. まとめ

本研究では、鹿児島県阿久根市の佐潟鼻にある佐潟洞窟内に存在する突起物の観察、化学組成分析を行い、突起物の成因について考察した。肉眼および顕微鏡観察では、突起物は角閃石安山岩の表面に成長しており、同心円状の形態を示し、連続的な成長が示唆される。化学成分は非晶質のシリカ、クリストバライトが共存しており、また、突起物はFeが豊富であることから、熱水の影響を受けて、一部は風化を示唆する。さらに、元素マッピングから突起物はNa, Cl, およびCa成分をほとんど含まないことから海水から影響を受けたとは考えにくい。しかし、突起物が洞窟の天井や壁から水平あるいは垂直に成長していることに関しては説明できず、今後の研究を待たなければならない。

## 謝辞

研究の機会をいただいた阿久根市商工観光課・企画調整課地方創生特命参事の小泉智資氏（現枕崎市副市長）、現地の調査で便宜をはかっていた阿久根市教育委員会生涯学習課文化係の宮田大之氏に心より感謝を申し上げます。

## 参考文献

- [1] 勝村敏史, 山本啓司, 地質学雑誌122巻第1号 (2016), 37-42.
- [2] 宮地六美, 九大教養地研報21巻第6号(1980), 1-6.
- [3] 鹿児島県地質図編集委員会 (1990), 鹿児島県地質図縮尺10万分の1.
- [4] Miyachi, M., Rep. Earth Sci., Coll. Gen. Educ., Kyushu Univ. 24, (1985), 1-6.
- [5] 満塩大洗, 五十嵐高雲, 高知大学学術研究報告 46 巻, (1997), 79-90.
- [6] Jones, B., Renaut, R. W. Sedimentology 44, (1997), 287-304.
- [7] Claire, J. Horwell, et al., Bulletin Volcanology 75, (2013), 696, 1-19.
- [8] Nakada, S., Motomura, Y., Jour. Volc. & Geotherm. Res. 89, (1999), 173-196.
- [9] Damby, D. E. et al., Jour. Volc. & Geotherm. Res. 261, (2013), 376-387.
- [10] Baxter, P. J., et al., Science 283, (1999), 1142-1145.
- [11] Kurt, O. Konhouser et al., Ambio 33(8), 2004, 552-558.
- [12] Berelson W. M., et al., Geobiology 9, (2011), 411-424.