

地殻コア CT スキャンデータ可視化のための GPU クラウドサービスの開発(継続)

代表研究者	山 際 伸 一	筑波大学 システム情報系 准教授
共同研究者	久 光 敏 夫	海洋研究開発機構・高知コア研究所 技術主任
共同研究者	和 田 耕 一	筑波大学 システム情報系 教授
共同研究者	坂 本 侑一郎	筑波大学 システム情報工学研究科 博士前期課程 学生
共同研究者	岡 本 昂 也	筑波大学 システム情報工学研究科 博士前期課程 学生
共同研究者	佐々木 慎	筑波大学 システム情報工学研究科 博士前期課程 学生
共同研究者	伊 藤 弘 貴	筑波大学 システム情報工学研究科 博士前期課程 学生
共同研究者	西 山 崇 明	筑波大学 システム情報工学研究科 博士前期課程 学生
共同研究者	阿波根 直 一	海洋研究開発機構・高知コア研究所 グループリーダー

1 研究のあらまし

地球を覆う大部分は海洋である。しかし、その海洋の海底地殻には地球の歴史を紐解く証拠がたくさん眠るとされている。例えば、太古の気象変動の軌跡[1]や、海洋の生態系の変化[2]、さらには、プレートテクトニクスにおける地殻変動[3][4]といった地球が残した変化の記録を、海底堆積物や岩石から読み取ることができれば、現在のちきゅう温暖化現象や、大規模地震、さらには、生命の進化を理解することができ、数万年といったスパンでの、この先の未来を予測することが可能になると言われている。

このような全地球規模での変動を、海底掘削から解き明かそうというプロジェクトが始動している。(独)海洋研究開発機構 (JAMSTEC) は地球深部探査船「ちきゅう」を所有し、統合国際深海掘削計画[5] (IODP, <http://www.iodp.org/>) の一翼を担う。2012年5月時点で「ちきゅう」は海底の最深掘削世界記録を更新し、7740メートルでの海底掘削に成功した。IODP では世界各地の海洋にて掘削を行っている。そのうちインド洋域を中心とした海域で採取された約 87km 分の海洋コア試料は、高知県南国市にある高知コア研究所 (<http://www.jamstec.go.jp/kochi/>) にて保管管理されている。また、最新の「ちきゅう」による掘削では、東日本大震災の震源地である東北沖を掘削し、地震のメカニズムを突き止めようとしている[6]。

「ちきゅう」は従来の深海掘削船には無かった、X線 CT スキャナ (以降、CT スキャナ) を搭載している。掘削された柱状試料は「海洋コア試料 (海洋コア)」と呼ばれる。その海洋コア試料は、船上で CT スキャンが実施され DICOM フォーマットのイメージデータがアーカイブされる。現在、世界中の研究者は WEB を介して、サンプルの採取要求と CT スキャンデータのダウンロードが可能である。しかし、CT スキャンデータは海洋コア 1.5m あたり 400M バイトもある。掘削サイトあたり数百~千メートル単位のダウンロードと画像構築には、ハイスペックな端末性能と、巨大なデータを保存できるハードウェアが必要であるため大変困難である。そこで、本研究では、より軽快かつ簡便なイメージング方法を研究し、携帯端末等の低スペックな情報端末であっても手軽に海洋コアの CT スキャンイメージを閲覧することが出来るサービスを構築することを目標とした。

2 研究の目的

現在、DICOM フォーマットを海洋コアの解析に利用するためには医療向けのソフトウェアを使う方法が一般的である。この手法は、医療データとして保存された CT データを変換表示させることが必要で、閲覧者に負荷が大きい。例えば、海洋コアデータであれば、医療向けの名前のついたデータ分類を地理情報と試料のメタデータとして読み取る必要がある。さらに、連続的に地層を閲覧したい場合、ファイルの総容量は数ギガバイトにも及ぶ。現在の閲覧ソフトウェアでは処理が困難で、スケーラブルなイメージ閲覧は出来ない。

このような背景から、本研究の技術目標は、海洋コアの CT スキャン DICOM イメージを地質学に準じた表示と操作を可能にするインタフェース開発と可視化サービスの構築とした。具体的には、「ちきゅう」により掘削された海洋コアの CT スキャンデータを GPU を使って 3次元情報に再構築し、閲覧者に 2次元画像として返すクラウドサービスを提供する(図1)。これにより、ユーザーは DICOM 形式ファイルを直接扱う必要はなく、iPad のような携帯機器であっても、軽快かつ短時間で 3次元イメージの作成と閲覧が可能になる。

本研究を通して明らかにする点として、以下の3点が挙げられる。

(1) DICOM フォーマットを3次元ポリゴンデータに変換するアルゴリズムの開発

DICOM フォーマットに保存されるデータは、断面の2次元データであり、3次元へ復元する必要がある。この復元を、一度、ポリゴンで3次元モデルとして定義し直すことでDICOM ファイルに頼ることなくスケーラブルな画像復元を可能にするアルゴリズムを開発する。

(2) 3次元データにメタデータを関連させる

3次元データには、ポリゴンに関連する付加データを追加することで、3次元空間に対し、データが関連づけられている新しい概念を持ったデータマッピング手法を開発する。特に、色づけに関して本研究では注目する。色もメタデータであり、医療で用いる色定義とは異なるため、自由に色づけ可能なインタフェースを開発する。

(3) 3次元ポリゴンデータを2次元イメージに変換するクラウドサービスの開発

ポリゴンで作られた3次元データは、閲覧者が望む角度や断面で参照できる必要があるため、その2次元イメージをWebブラウザで閲覧可能なPNGやJPEGといった汎用画像形式で返す。これにより、DICOMのような特殊なファイル形式での閲覧制限から解放され、利用者の範囲が格段に広がる。

以上の(1)、(2)に関しては、GPUで処理する。(3)に関しては、Webサーバを介し、(1)(2)で変換した3次元ポリゴンデータを2次元のJPEGなどの汎用フォーマットに変換し、閲覧者に返すクラウドサービスを開発する。

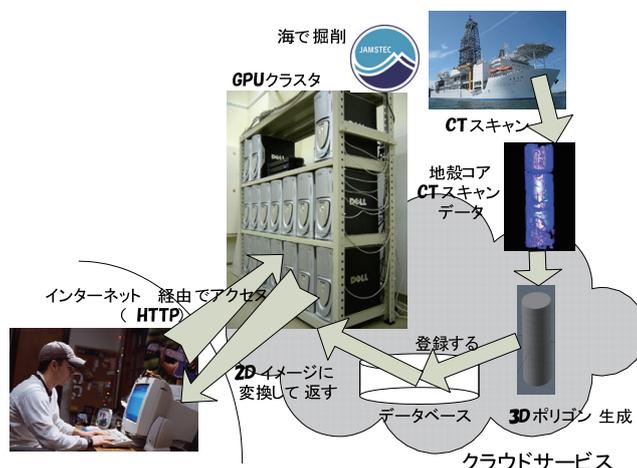


図1：本研究の目指す海底コアを閲覧するためのクラウドサービス

3 研究の意義

本研究で目指すシステムは、DICOM フォーマットをWebブラウザがあれば閲覧可能な汎用画像フォーマットで閲覧できるサービスを提供するシステムである。このシステムには以下のような機能を含む。

(1) DICOM フォーマットをポリゴンに変換するGPUクラスタ向け高速アルゴリズム

(2) 3次元ポリゴンに拡張データ(色データ)を含むデータ構造

これらから、DICOM フォーマットに準拠する表示装置やソフトウェアがなくても、携帯端末などのWebブラウザなどからHTTP経由で必要となる画像データを受け取ることが出来るDICOM画像クラウドサービスを構築することが出来る。そして、これらの基本技術を海洋コアのCTスキャンデータの可視化サービスに応用することで、海洋コア試料のイメージデータサービスを提供することができるようになる。

本研究で開発する基礎技術を用いた海洋コアのデータベースサービスは、全世界の研究者、教育関係者と学生、博物館および来場者、報道関係者、一般ユーザーの幅広い範囲から利用されると考えられる。

さらに、本研究は、これまで医療用の標準画像であるDICOMフォーマットを扱うため、本フォーマットの最多利用者である医療関係者の利用も考えられる。特に高性能なパソコンを常に持ち歩くことが不可能な僻地での医療提供に役立つことが期待できる。特に、図2に示すような、通信バンド幅の低い環境下における医療画像の読出しにおいては、これまでのPACSサーバと呼ばれるDICOMデータを直接サービスするデータベースから、DICOMフォーマットのデータをダウンロードしなければならない。そのため、通信には高いバン

ド幅を必要とされるが、本研究成果により、少ないデータ量で2次元イメージを返すことが出来るようになる。すなわち、低いバンド幅しかない通信環境においてもイメージを高速にダウンロード、3次元データを再構築することが可能で、携帯端末のような処理能力の低いプロセッサを搭載した機器での利用が見込まれる。例えば、「ちきゅう」が洋上で用いる、低い通信バンド幅の衛星回線でもリモートによって陸上データベースにあるDICOMイメージを簡便に閲覧できるようになる。

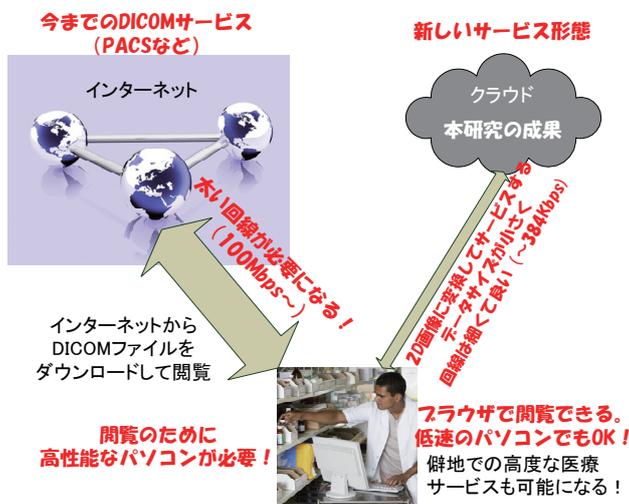


図2：本研究の意義

本研究で実現する技術は、DICOM ファイルの閲覧に役立つが、DICOM ファイルをシステムに登録する技術と、3次元ポリゴンデータの特徴をアノテーションし、メモしておく機能、といった分類のための技術、そして、3次元データの特徴とメモからの検索技術を開発することへ発展していき、それに伴い、DICOM データを扱う分野間での画像共有や、情報交換が行えるシステムを加えていくことで、海底コアイメージを中心としたコミュニティ作成のための基本ツールとして期待できる。

2 研究の背景

本研究の背景として、以下の3つの技術要素を利用する。

(1) クラウドサービス[10]

性能が要求される計算や記憶空間、そして、知識の根源となる画像などのマルチメディアデータを全て、ローカルのマシンを使って計算するのではなく、インターネット上に分散したリモートマシンにそれらを依頼できるクラウドサービスが、携帯端末のような性能や記憶容量を確保できない貧弱な計算機に対しても高い品質のサービスを提供している。ネットワーク機能を持つことで無限に機能が広がるユビキタス世界に向けた基盤技術として利用が進みつつある。

(2) DICOM (Digital Imaging and COmmunication in Medicine)フォーマット

医療機器における画像フォーマットと機器間の通信規約はメーカーにより異なり、機器間で接続もできず、さらにソフトウェアの互換性が保持できないことが問題であった。それを解決するDICOMフォーマットが策定された[7]。DICOMフォーマットは医療用画像フォーマットとして普及している。機器により採取可能な細かな医療データ(例えば筋肉密度)をファイル中に内在することが出来る。DICOMデータを管理するデータベースも存在し[9]、fMRI等の3次元イメージデータを保存するために利用され、商用化もされている。

(3) GPU クラスタによる超高性能計算

GPU(Graphics Processing Unit)の性能は劇的な性能向上を遂げ10 TFLOPS(Intel CPUは200 GFLOPSであり50倍)もの性能を実現している。その元来の機能であるグラフィックス計算だけでなく、汎用計算にも用いられる。GPUを利用したクラウドサービスを提供することは画像・映像、データ処理を対象にした高品質なサービス提供への利用価値は高い。最近ではGPUを提供するクラウド基盤も出現している[8]。

以上の3つの技術を融合することで本研究を推進し、3次元イメージを2次元イメージに変換するサービスを実現する。

研究の方法

2-1 作業計画と内容

本研究を推進していく上で、作業を大きく4つに分割した。

(作業1) DICOM ファイルの調査とイメージデータの抽出

DICOM ファイルを解析するために Macintosh 上で DICOM ビューワの代表である Osirix で、十分にファイルフォーマットの調査・研究を行うと共に、3次元ポリゴンデータのデータ構造を決定し、DICOM 形式をポリゴンデータに変換するアルゴリズムを開発する。

(作業2) ポリゴン化アルゴリズムと色データの定義

開発したポリゴンデータへの変換アルゴリズムを GPU 上で実行できるように拡張する。また、3D ポリゴンに関連づけた色データを反映するアルゴリズムを開発する。

(作業3) 閲覧者向けインターフェースの検討

閲覧用ツールのインターフェースへの要求仕様をユーザ（研究者）から募り、要求される「見え方」のためのサービス提供方法を検討し、実装する。

(作業4) クラウドサービスとしての構築

インターネットを介しても高速なレスポンスができるクラウドサービスとして全体を構築し、実際に研究者に使ってもらうためにソフトウェアとサービスを公開し、プレスリリースする。

2-2 実施した作業

以上で示した開発作業を以下のように実際に行った。

(1) DICOM ファイルの構造調査とフォーマットの調査・研究

海洋コア試料の DICOM ファイルに含まれる画像フォーマットに関しては JPEG2000 形式であることがわかり、そのデコード部分を将来的には GPU で高速できることを見込めた。DICOM フォーマットからのデータ抽出には GDCM と呼ばれる GNU のフリーライブラリを用いることが出来ることがわかった。

(2) 3次元ポリゴンデータ形式の策定と DICOM 形式からの変換アルゴリズムの開発

OpenGL を用いて、3次元ポリゴンデータを作り出すことができた。DICOM イメージデータから抽出したスライスイメージの1つの CT 値をスライスの厚みと1ピクセルあたりの縦横の実測値の比を維持した立方体として実現し、3次元構造を復元することが出来るアルゴリズムを開発した。

(3) 上記変換アルゴリズムの GPU への移植

これらの項目には、OpenGL を GPU に対応できるようにし、立方体の塊として、3次元構成し、コアの CT 値のピクセルデータを立体化するプログラムを実装した。この(2)と(3)のアルゴリズムのようすを図3に示す。この図の中の色づけ部分は次に示す(4)で実装している。

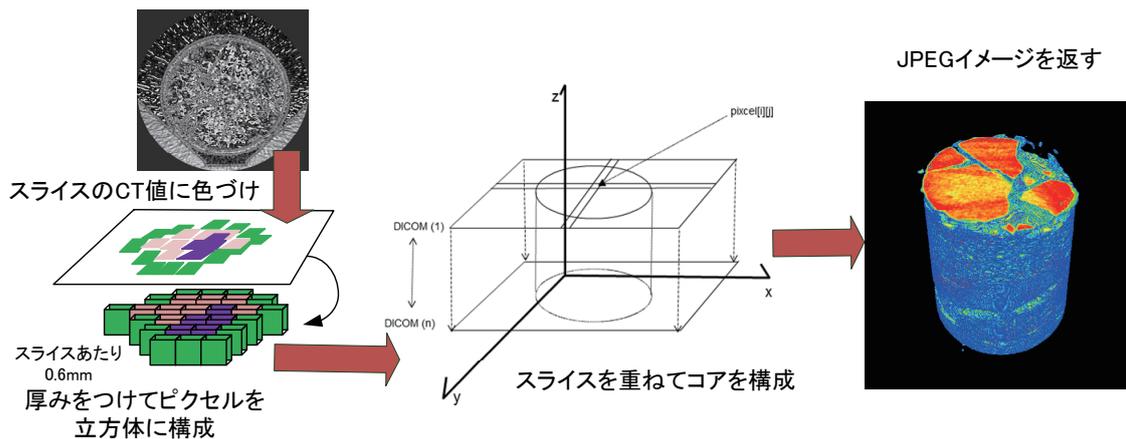


図3：コアの3次元構成方法

(4) ポリゴンに関連付けた色データの定義

本項目の主な作業としては CT 値をユーザに見せる方法を研究することであり、色づけの方法を探求した。本項目は CT 値を HSV 色空間にマップする事で色分けが出来るようにした。図4に CT 値を HSV 色空間にマッ

プした際の海底コアの1スライスあたりの色づけ方法を示す。

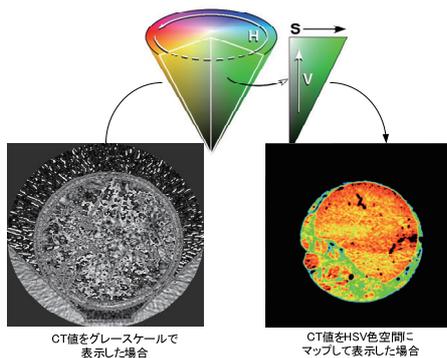


図4：CT 値の HSV 色空間へのマップ

(5) 地殻コアイメージ閲覧用ソフトウェアの仕様策定

本項目を実施するに当たり、GPU クラウドを利用しない、ローカルコンピュータで実験するプロトタイプ (KoreVi と呼ばれる) の作成を行った。プロトタイプのスクリーンショットを図5に示す。本プロトタイプにより、3次元ポリゴン処理の高速化部分を判定することが可能になった。また、インターフェース作成の上でこのバージョンを改変することで、利用上の問題点を洗い出すことが出来た。

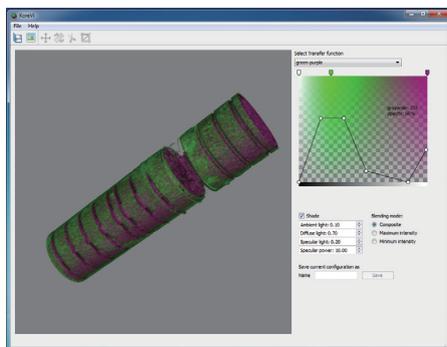


図5：プロトタイプ KoreVi

(6) クラウドサービスの開発と上記閲覧用ソフトを使った実験と評価

Web ブラウザへ JPEG イメージとして表示部分を返すインターフェースを開発し、実験した。GPU クラウドからは図3に示すように海底コアのイメージを2次元画像として返されるように実装することが出来た。

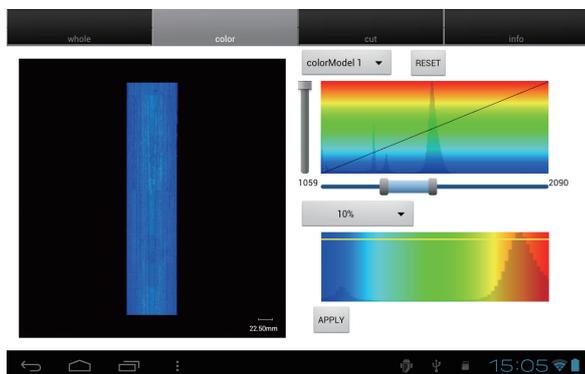


図6：Virtual Core Viewer の Android 版のインターフェース

(7) タブレット端末と Web ブラウザでの閲覧インターフェースの実装

GPU クラウドからのイメージを受け取るインターフェースを実装した。図6に Android 版のインターフェース

を示す。このインタフェースでは、色彩をCT値によって変更し、物質の硬度にしたがって、表示を変更することができる。透過といった、非表示の部分も作ることができるため、海洋コアの内部構造を詳細に閲覧することができるようになった。Android版のアプリは図7に示すようにGoogle Playより公開し、世界中どこからでも利用できるようにした。また、本インタフェースは図8に示すようにWebブラウザ版も作成した。機能はAndroid版と同じである。



図7：Virtual Core Viewer のGoogle Play での公開

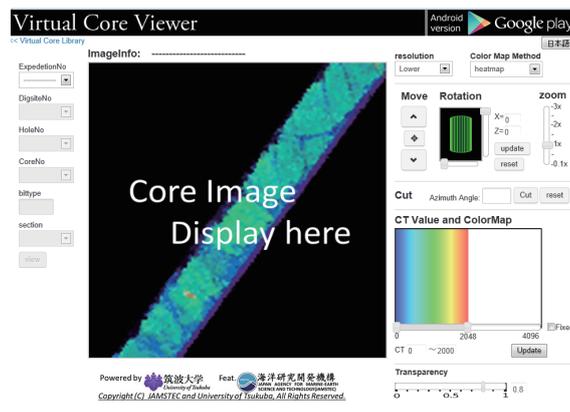


図8：Virtual Core Viewer のWeb ブラウザ版のインタフェース

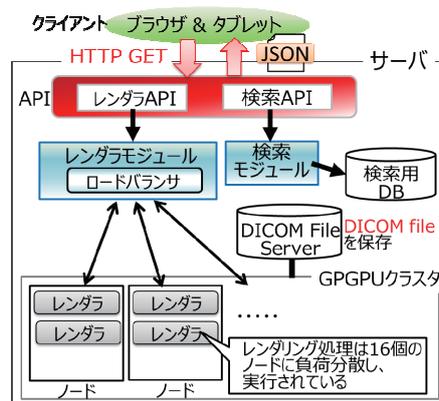


図8：GPU クラウドでの処理の並列化

(8) GPU クラウドにおけるサービスの並列化による高速化

多数のアクセスを処理するためスライス画像から3次元ポリゴンに再構成する部分をアクセス毎に並列処理し、また、(7)のユーザインタフェース側に返す画像の品質をコントロールする改善を行った。図8に示

すレンダラが3次元処理を行う部分であるが、この部分をアクセス毎に異なるクラスタノードで実行し、負荷分散している。

研究の成果

本研究では、地球深部探査船「ちきゅう」で得られる海洋コア試料のX線CTスキャン画像の3次元化と、ユーザーが指定する視点からの画像を2次元イメージデータとして返すGPUクラウドサービスの構築を目指した。計画されていた作業が完了し、Google PlayでのAndroidタブレット向けアプリの公開と、Webブラウザでの閲覧インタフェースの公開が完了した。現在、Integrated Ocean Drilling Programの連携国や、海外の地質学者から閲覧されており、当初の目的である海洋コア試料のイメージングサービスを提供できている。

【参考文献】

- [1] Okazaki Y, Timmermann A, Menviel L, Harada N, Abe-Ouchi A, Chikamoto MO, Mouchet A, Asahi H., *Deepwater formation in the North Pacific during the Last Glacial Termination*, Science. 2010 Jul 9
- [2] Takai, K. et. al., *Variability in Microbial Communities in Black Smoker Chimneys at the NW Caldera Vent Field, Brothers Volcano, Kermadec Arc*, Geomicrobiol. J., no. 26, pp. 552-569, 2009.
- [3] Toshitak Baba and Yuichiro Tanioka and Phil R. Cummins and Koichi Uhira, The slip distribution of the 1946 Nankainext term earthquake estimated from tsunami inversion using a new plate model, *Physics of The Earth and Planetary Interiors*, vol. 132, no. 1-3, pp. 59-73.
- [4] Hugues Raimbourg and Kohtaro Ujiie and Achim Kopf and Toshio Hisamitsu and Yozo Hamano and Saneatsu Saito and Masataka Kinoshita, The role of compaction contrasts in sediments in decollement initiation in an accretionary prism, *Marine Geology*, vol. 282, no. 3-4, pp. 188-200.
- [5] International Working Group Support Office, Earth, oceans and life : scientific investigation of the earth system using multiple drilling platforms and new technologies : integrated ocean drilling program initial sciencee plan, 2003-2013
- [6] *Drilling ship to probe Japanese quake zone*, News in Nature479, 16 (2011)
- [7] The Association of Electrical and Medical Imaging Equipment Manufacturers. <http://www.nema.org/>
- [8] SGI Cyclone HPC Cloud. http://www.sgi.com/products/hpc¥_cloud/cyclone/
- [9] Masahiro Yakami and Koichi Ishizu and Takeshi Kubo and Tomohisa Okada and Kaori Togashi, Development and Evaluation of a Low-Cost and High-Capacity DICOM Image Data Storage System for Research, *Journal of Digital Imaging*, Springer, vol. 24, no. 2, pp. 190-195, 2010.
- [10] John W. Rittinghouse and John W. Rittinghouse, *Cloud Computing: Implementation, Management, and Security*, CRC Press, 2009

〈発表資料〉

題名	掲載誌・学会名等	発表年月
掘削コア試料の3次元デジタルイメージングサービス	日本地質学会第118年学術大会講演要旨集(セクションB)	2011年9月
Prototyping GPU-based Cloud System for IODP Core Image Database	Proceedings of The Second International Conference on Networking and Computing, IEEE	November 2011
A Visualization Cloud Service for X-CT DICOM Images Applied to Deep-sea Drilled Core Database	Proc. Of ICNC/NCSS	December 2012